研究社会文化变迁的新视角——表征相似性分析：以老年人心理健康为例*

袁航 罗思阳

(中山大学心理学系，广州 510006)

摘 要 在心理学及其他社会科学研究中，社会变迁研究主要使用单维度线性分析方法探索特定心理或行为的变化趋势以及影响社会变迁的潜在因素，缺乏对多维变量内部结构变迁的关注，也难以比较不同尺度的社会变迁现象。本研究将介绍一种从模式角度进行社会变迁研究的方法——表征相似性分析，并以 1998～2018 年间对中国老年人健康影响因素的纵向追踪数据与对应时期的社会文化变迁测量为实例，演示如何构建多维度的表征相似性框架，依次介绍多变量单维模式分析(时间、空间、心理与意识空间(Mental space，简称“意间”))、多变量跨维度模式分析(意间-时间，意间-空间，意间-时间-空间)、跨尺度模式分析(地区-国家)、概念模式分析，以及表征相似性分析与传统方法的耦合分析，随后展望了表征相似性分析的拓展方向。

关键词 社会文化变迁，表征相似性，模式分析，跨尺度，老年人心理健康

收稿日期：2022-09-01

通信作者：罗思阳，E-mail: luosy6@mail.sysu.edu.cn

1 前言

自 1949 年新中国成立以来，中国社会在半个多世纪中发生了三次转型，期间社会经济结构、人口结构与文化形态发生了深刻变化。社会变迁泛指任何社会现象随时间的变化，涉及到一切宏观与微观层面的社会变化。但是受到研究方法等因素的局限，以往研究大多使用单一社会变迁指标解释心理与行为变化，缺乏对社会文化结构和心理认知结构等复杂高维整体模式变化的认识，以及变化背后的过程与机制的探索。因此，下一代社会心理学和文化心理学研究亟待吸收系统科学的视角，从高维空间来研究和理解社会文化结构和特征，及其与自然、经济、人口等的协同演化模式。为揭示现有的社会变迁分析中无法体现的机制，本研究基于认知神经科学领域的表征相似性概念，提出一种基于模式角度对社会文化变迁进行系统分析的方法。

1.1 社会变迁研究方法

社会变迁是一系列社会现象更替与社会变化过程的总和(邓伟志，2009)。社会变迁可以分为经济变迁、自然环境变迁、文化变迁与生物进化等诸多方面。其表现形式也是多样的，既可以从整体与局部的视角进行观察，也可以体现为社会的进步与退步。常见的社会变迁研究包括跨时间、跨代际与跨地区比较(蔡华俭 等, 2023)。

跨时间比较主要基于已有数据来比较心理或行为的变化，如历史档案、以往研究报告及各类调查。历史档案数据形式多样(如影音资料、报纸、典籍)，可用于研究多种变迁现象，但需要对数据进行提取与量化，因此目标变量的代表性与效度受到限制。对于已发表的研究数据，可使用横断历史的元分析法(Twenge, 1997; 辛自强，池丽萍, 2008)，该方法要求元分析中纳入的研究使用一致的量表，因此研究问题受限，且不能保证所选样本的代表性与研究间的可比性。对于社会调查数据，通常是基于不同的实验设计开展，如横断序列设计、纵向追踪设计等，调查问卷数据适用范围广泛，且基于不同的实验设计能较好的区分时间、年龄与年代效应，但也会存在数据流失或代表性不足的现象。

跨代际比较与跨地区比较是通过在同一时间点比较不同代际或处于不同发展阶段地区间的行为与心理差异来推测社会变迁的影响。跨代际研究可以基于客观年代、亲缘关系等标准划分代际(刘子曦, 2017; 张建人 等, 2020)，能够同时获取不同年龄或年代数据，但无法区分代际效应来源于年龄还是年代差异。跨地区比较则主要使用历史重构法展开，即同时比较处于不同社会发展水平的地区，从而对社会发展的趋势进行预测(Yamawaki, 2012)，跨地区比较不需要收集多个时间点的数据，但需要强有力的证据支持基于地域差异的推断，否则将

难以保证结果的有效性。

从研究对象角度看，受到数据来源及形式影响，大多研究是从单一维度对目标变量进行研究，数据代表性不足。如用第一人称代词“我”“我们”的使用情况代表当地的个体主义水平(Yu et al., 2016)，用低频名字使用频率体现独特性动机(Cai et al., 2018)。然而，人类的心理特征是复杂多元的，是不同维度变量(如人格、特质、情感、动机、意识)共同作用的结果，这些变量在社会学习和演化中共同演变(Luo et al., 2015; Li et al., 2018; Luo et al., 2019)。因此，我们引入心理与意识空间(Mental space，简称意间)这一概念，将其定义为由人类各维度心理变量组成的整体结构。意间尺度将不同心理变量作为其子成分，用以从整体视角表征心理特征。举例来说，个体的主观幸福感可分为知足充裕体验、心理健康体验、社会信心体验等 10 个维度，仅从单一维度对心理或行为变量进行研究很难体现其全貌，因此需要从意间尺度对 10 个子维度进行整合。为解决该问题，有研究者尝试将不同维度指标进行直接合并，如 Enke (2023)将与“贸易”、“金钱”相关母题相加作为“市场化”的指标。但这种整合方式忽视了维度间的差异。因此，需要新的方法将多维复杂变量进行具体化表征，以探索目标变量整体及其内部结构的变迁过程。

其次，社会变迁是多尺度因素交互的结果，并非独立发展。以往研究指出，自然、文化、行为、大脑、基因处于一个复杂的动态交互网络中，其中基因是基因型(genotype)、大脑是内表型(Endophenotype)，文化、自然、行为则是表型(phenotype)，彼此影响形成复杂的动态交互网络。根据该协同演化框架，可以解释人类自身发展的过程、文化的历史进程以及生态在历史中的变化(黄丽芹 等, 2022; Luo et al., 2020; Luo et al., 2021; Yu et al., 2022)。以往研究多是在同一尺度下直接分析，或是将其他尺度数据作为分类依据进行数据比较，受限于数据本身的特异性。同时，不同尺度在同一概念上可能有不同的内涵，因此在一个尺度上的结论并不一定能类推到其他尺度(Klein & Kozlowski, 2000)。当前，需要有相应的方法来直接比较、整合跨尺度(个体、群体、国家、理论)数据，以实现对社会变迁的整体性探索。

1.2 表征相似性视角

表征相似性分析(Representational Similarity Analysis, RSA)源于系统神经科学，是一种特殊的多元模式分析方法。该方法评估了表征空间中响应向量间的表征结构，通过对概念或刺激单元成对比较来反映其在高阶空间中的表征(Haxby et al., 2014)。在神经科学领域，RSA 常被用于对比多模态神经数据，此外，该方法还被用于探索跨物种、跨空间尺度与跨维度数据的相关性(Popal et al., 2019)。近期，有研究者将 RSA 引入跨文化研究中，例如，黄丽芹等人(2022)构建了 COVID-19 疫情期间 73 个国家的个人主义水平、总死亡人数、死亡率等指标

的 RSA 矩阵，发现个人主义在各国间的相似性能够显著预测死亡相关指标在各国间的相似性。另有两项研究从表征相似性角度探讨了国家间经济自由、信任与 COVID-19 疫情指标之间的关系，结果发现经济自由水平与人际信任均和疫情控制速度呈现出显著相似的表征模式(Huang et al., 2022; Yuan et al., 2022)。

基于整体模式视角的 RSA 分析可以针对多种类变量构建 RSA 矩阵，通过对多维变量的内部结构或模式进行提取，构建复杂变量的全局模式，这种高维空间模式减少了对单维单一变量具体数值的依赖，转而更多关注数值间的关系模式，适用于各类社会科学数据，如国家社会经济统计、民意测验、文化价值观调查等。例如，Luo 等人(2023)基于 14 个信任条目在国家水平构建了信任的 RSA 矩阵，同时还依据信任维度分别构建了人际信任、机构信任内部的 RSA 矩阵以及人际信任与机构信任间的 RSA 模型，发现国家间的人际信任与文化松紧度具有显著相似的表征模式。

同时，基于构建的 RSA 矩阵，可以在表征相似性层面进行数据或概念间相关性的比较，对不同模态、尺度数据(如基因表征、神经活动表征、行为表征、社会表征、理论表征)进行直接对比。该方法可以研究个体、群体、理论模型间的跨尺度关系，也可以研究基因数据、大脑数据与行为或心理数据间跨模态关系。此外，这种跨尺度的比较是定量的，能够对不同尺度数据间的相似性程度进行客观量化。例如，Peng 和 Luo (2021)结合横断历史的元分析与 RSA 考察了中国大学生大五人格特质变迁，元分析结果表明除亲和性特质之外，其他特质得分均逐年递增。而 RSA 分析不仅验证了该结果，还发现人口增长相似性中介了大五人格特质的变迁模式与年份变迁模式间的相关性。基于上述特点，我们提出可以将 RSA 应用于社会变迁研究中，以解决以往研究方法中目标变量维度单一，且难以开展跨尺度比较的问题。

1.3 RSA 与传统社会变迁研究方法的区别

社会变迁研究重点关注心理与行为变量随时间变迁的趋势及影响变迁过程的潜在因素。常用的分析方法包括相关分析与回归分析。在这两类分析方法中，通常将心理与行为变量作为因变量，时间及对应时间的环境变量(如基尼系数、空气污染指数、人口自然增长率等)作为预测变量，以探索引起变迁的相关机制。但传统的相关分析与回归分析无法排除时序数据中可能存在的自相关与伪相关现象(蔡华俭 等, 2023)，一些研究开始采用时间序列分析方法来探索一个或多个变量的变迁过程。对于单变量来说，时间序列分析方法以回归分析为基础，通过分析目标变量在不同时间点上的自相关关系，来解释其本身的相关结构，并基于其本身的结构模型来预测时间序列，以揭示变量的变化规律。对于两个或多个变量，在获取对应的时间序列后，通过交叉滞后相关、格兰杰因果分析等方法来确认变量间跨时间的共变或潜在

因果关系。

无论是传统的相关或回归分析还是当前的时间序列分析方法，其底层逻辑均是将收集到的心理或行为数据直接纳入或经过数值转化后与其他时序变量进行相关分析。如图 1A 所示，传统研究方法可以检验某特定心理或行为变量是否随时间发生变迁，或是两个时序变量之间的共变或先后因果关系。而 RSA 方法进一步定义了某一变量在多个维度上数据点的关联程度，并量化提取了该变量的全局模式信息。因此，基于 RSA 分析既可以实现对单变量高维结构的整合，也可以在时间维度上生成该多维变量随时间变迁的二阶表征相似性矩阵，还可以对不同变量的模式特征进行直接量化比较。值得注意的是，由于 RSA 方法考虑了变量间更为复杂的关系，因此可能得出与基于数值的相关或回归分析不一致的结果。如图 1B 所示，基于数值的简单相关分析展示了两变量在单一维度上的线性投影，得到的相关系数用以描述变量间的线性相关程度，如果变量间的关系是非线性的，那么相关系数就会高估或低估它们之间的关联程度。RSA 方法通过建构变量的表征相似性模式，整合了变量的整体特征。因此，基于模式的相关分析可以从全局模式角度表征变量间的相关程度，这为未来社会变迁领域研究提供新思路。

总的来说，RSA 分析将社会变迁研究对象从单维度或单尺度变量拓展为用 RSA 表征的多维度或多尺度数据，提出一种从模式角度探索社会变迁进程的视角，这与当前社会变迁研究的常用数据分析方法并不冲突，可以结合现有的数据分析方法(如相关分析、回归分析等)对表征相似性结果进行深入探索，以考察目标变量多维模式随时间变化的趋势。

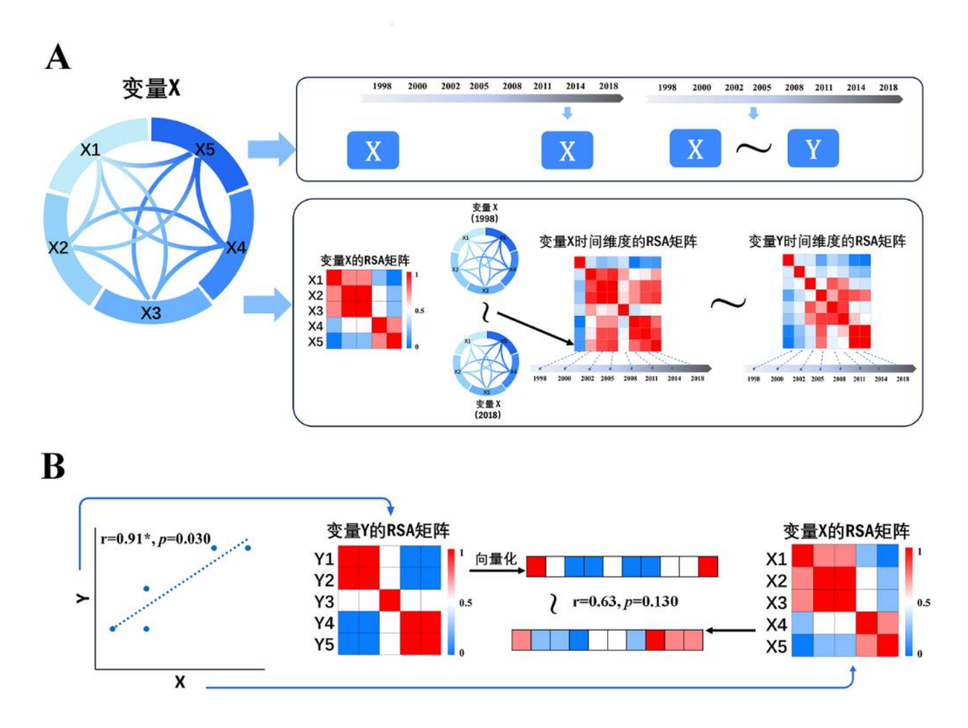


图 1　简单相关分析与表征相似性分析的差异：(A)假设变量 X、Y 是两个心理变量，两变量各包含 5 个维度(X: X1, X2, X3, X4, X5; Y: Y1, Y2, Y3, Y4, Y5)，传统社会变迁研究关注变量 X 随时间变化的趋势，或是变量 X 与 Y 随时间的共变趋势或因果关系，通常聚焦于分析变量单维特征(如 X 均值、X1)的变迁特点。而 RSA 矩阵反映了变量 X 在 5 个维度上每对数据点的关系，提供了关于变量 X 全局模式的信息，对变量 X 与 Y 的 RSA 矩阵的比较是对两变量模式相似性的比较。(B)基于线性相关分析可以得出 X 与 Y 具有显著的相关性(r = 0.91*)，但基于 RSA 方法分析则发现 X 与 Y 之间在模式上并不具有相似性(r = 0.63)。(*p < .05)

1.4 RSA 分析方法

RSA 分析通过构建相似性矩阵表征目标变量的“模式”，并基于模式间的比较体现模式变化。主要包括以下步骤：

(1)明确目标变量的构成因素。依据目标变量的模态，可以构建不同类型的 RSA 模型(如基于变量间假设关系构建“概念模型”，基于心理变量构建“心理表征模型”)。其中，目标变量可以是一阶变量，即基于目标变量不同维度的具体数值直接构建。也可以是二阶变量，即在一阶 RSA 矩阵基础上，构建关于一阶 RSA 矩阵表征相似性的二阶矩阵。

(2)构建目标变量不同因素间的表征不相似矩阵(Representational Dissimilarity Matrix, RDM)。计算 RDM 时，需要将所有指标两两比较得到一个对角对称矩阵，可以使用相似性或不相似性进行比较，计算相似性方法包括平均距离、欧氏距离与相关距离。平均距离即计算所有指标两两间均值的差异，以反映不同指标在程度上的差异，但平均距离无法体现指标间的模式信息。欧式距离表示指标间的空间距离，当目标变量属于同一量级时，欧式距离可以较好体现不同变量在空间上的组织关系。相关距离通常使用 Pearson 相关或 Spearman 等级相关系数计算，由于计算的是相似性指标，因此常使用(1-r)来表示不相似性，相关距离舍弃了均值，可用以比较不同量级的数据。

(3)比较不同目标变量的 RDM。构建单个 RDM 即可以作为一个完整分析。更进一步，RSA 另一作用是比较不同 RDM，即进行跨尺度跨模态比较。在定量比较两个 RDMs 时，由于 RDM 具有对称性，因此在比较时仅需保留上或下三角区域的值，并将延对角线的值删除，以获取唯一成对的表征相似性的值。此时，每个 RDM 可以转化为一列相似度向量，可以基于相关距离(如 Pearson 相关、Spearman 相关等)来比较对应向量矩阵的关系。此外，还需使用 Mantel 检验(Mantel, 1967)进行置换检验以检验结果的显著性。区别于相关系数只能检验两列数据的相关，Mantel 检验用于确定两组距离测度矩阵间的相关性，用于判断一个矩阵中的样本距离是否与另一个矩阵中的样本距离相关。在执行 Mantel 检验时，首先将两目标变

量矩阵相应展开变为两列变量，并计算两列变量的相关系数(Pearson 相关、Spearman 相关等)。随后，将其中一列或两列变量进行置换，再次计算置换后两列变量的相关系数，在进行 10000 次置换检验后，比较实际相关系数 *r* 在置换检验所得相关系数 *r* 值分布中的位置，如果实际相关系数 *r* 显著大于置换检验 *r* 分布的均值，则表明两目标变量 RDM 之间具有显著的表征相似性。Mantel 检验可以使用 R(R Core Team, 2020)中的“cultevo”工具包进行。

2.在社会变迁研究中开展 RSA 分析

在社会变迁研究中，RSA 分析有多种形式的应用。从目标变量来看，RSA 分析的目标变量可以是单因素变量，也可以是包含不同内部变量的多因素变量。(1)对于单因素变量，可以基于的自身维度(如意间、空间、时间等维度)构建 RSA 矩阵，并比较不同单变量矩阵间的表征相似性模式，可以探究不同变量在同一维度上的表征模式是否相似。(2)对于多因素变量，首先可以在其构成因素维度上(如意间维度)构建一阶多变量 RSA 矩阵，以考察该变量的内部结构，并且对两个多变量 RSA 矩阵进行比较以探索不同变量内部结构的差异。此外，在一阶矩阵的基础上，还可以构建基于其他维度(如时间维度)的二阶多变量 RSA 矩阵，以获取目标变量内部结构的变化趋势。同时，也可以对两个二阶 RSA 进行比较以探索不同多变量内部结构在其他维度上变化趋势的异同。

从研究尺度来看，可以分别在个体、地区、国家与概念等不同尺度上构建 RSA 矩阵。(1)在个体尺度，可以构建每个被试心理或行为变量的 RSA 矩阵，探索影响被试间表征相似性模式变化的因素；(2)在地区或国家尺度，可以构建宏观水平的 RSA 矩阵以考察影响地区或国家间 RSA 模式差异的社会因素；(3)在概念尺度，可以构建理论水平的 RSA 矩阵，即对变量间假定的关系进行模式化表征，不同理论或概念的 RSA 模型间的比较可以对理论或概念间的模式差异进行量化。

接下来将通过不同实例演示如何使用 RSA 方法分别构建跨时间、跨地区和概念模型的表征相似性矩阵。所用到的数据来自中国老年健康影响因素跟踪调查(CLHLS)数据集与国家统计局(http://www.stats.gov.cn/)公布的官方数据集。

2. 1 数据来源

(1)老年人心理健康与认知功能数据

老年人心理健康与认知功能数据来源于中国老年健康影响因素跟踪调查(CLHLS)数据集(https://opendata.pku.edu.cn/dataverse/CHADS)，该数据集由北京大学健康老龄与发展研究中心/国家发展研究院组织开展，在 1998 至 2018 年期间调查了全国 23 个省（自治区、直辖市）65 岁及以上老年人(存活被访者问卷)和 35-64 岁成年子女(死亡老人家属问卷)。调查包含的老年人的社会经济背景、认知功能、性格心理特征及生活方式等内容。本研究数据主要选择 65 岁及以上存活老人问卷的内容，共 8 次调查(调查年份分别为 1998、2000、2002、2005、2008、2011、2014、2018 年)。使用例删法处理关键变量的缺失值问题，删去在各年份数据库中的 7 个情绪与健康维度条目与 6 项认知功能测试项目中缺失数据的样本，最终获得样

本数量为 66214 人。该数据可作为典型例子全面演示表征相似性分析在各种类型场景的数据分析中的应用方法。

心理健康模式：选择 CLHLS 数据在 8 次调查中均进行测评的心理健康相关条目，共纳入 7 个测量情绪与健康维度的条目，在问卷调查过程中，被试需要按照李克特 5 点量表(1=经常，5=从未)对题目进行打分，包含对老年人乐观性、保持干净与整洁、焦虑或恐惧情绪、孤独感、无用感、幸福感、控制感的测量。

认知功能模式：选择 CLHLS 数据在 8 次调查中均进行测评的认知功能相关项目，共纳入 6 项认知功能测试项目，包括对老年人的一般能力、反应能力、注意与计算能力、记忆、语言理解与自我协调能力、日常活动能力的测量。

(2)社会水平的数据

从国家统计局(http://www.stats.gov.cn/)公布的官方数据集中收集现有的社会变迁数据。社会经济发展水平数据包含中国各省（自治区、直辖市）人均国民生产总值(GDP)、居民消费价格指数(CPI)、居民消费水平，自然环境状况数据包含中国各省（自治区、直辖市）细颗粒物指数(PM2.5)，社会保障水平发展数据包括中国各省（自治区、直辖市）医疗卫生机构数量，社会文化水平发展数据包括中国各省（自治区、直辖市）广播电视节目综合人口覆盖率。此外，还纳入年份数据及人口自然增长率、总人口数数据。

在构建概念模型时，使用到的中国“五年规划”数据来自于中华人民共和国国民经济和社会发展五年规划纲要(https://www.gov.cn/)，水稻种植面积数据来源于国家统计局(http://www.stats.gov.cn/)公布的官方数据集，文化松紧度数据来源于 Chua 等人(2019)的研究(Chua et al., 2019)。

2.2 不同模式表征相似性模型构建

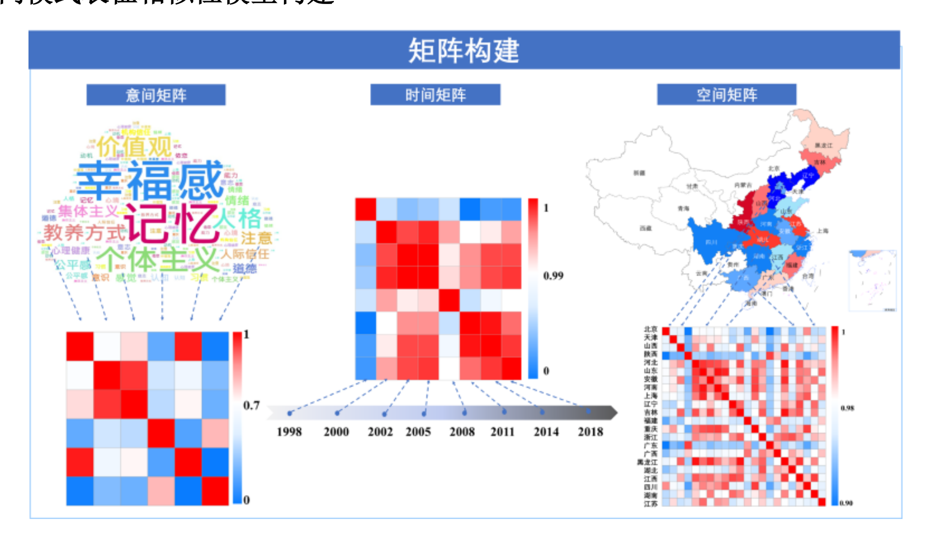


图 2　社会变迁研究中表征相似性模型构建：在构建 RSA 矩阵时，可以从意间维度(如某心理变量下的不同维度)、时间维度(如某心理变量在不同时间点的水平)与空间维度(如某心理变量在不同省份的水平)分别构建 RSA 矩阵。

2.2.1 跨时间的单变量表征相似性矩阵(国家尺度，时间维度)

在社会变迁研究中，首先可以对现有的单变量指标的变迁模式进行初步探索，即构建跨时间的单变量表征相似性矩阵，以考察单变量指标随时间变化的模式或特征。此类矩阵直观展现了单变量指标的变迁模式，可以直接观察目标变量的变化形态，也为进一步探索社会变迁问题提供线索。这种跨时间的单变量表征相似性矩阵适用于对单维目标变量(如行为指标、心理因素或概念)的初步分析，如构建老年人孤独感、焦虑感、各类社会文化变迁指标的跨时间的 RSA 矩阵，并可以直接比较单维目标变量间变迁模式的相似性。此外，单变量 RSA 矩阵的构建也为二阶分析提供数据基础。

以老年人孤独感为例，首先计算每个年份下老年人总体孤独感水平，随后构建老年人孤独感的 RDM 矩阵，即对所有年份中老年人孤独感水平均值进行成对比较，计算每两个年份的孤独感水平之间的绝对差值。然后使用公式$S_{i,j} = 1 - \frac{D_{i,j}}{Max(D_{i,j})}$进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作为相似度得分，其中$S_{i,j}$表示年份 i 与年份 j 的相似性，$D_{i,j}$表示年份 i 与年份 j 孤独感的绝对差值。在构建 RDM 矩阵时，可以使用 R 内置的“dist()”函数进行方法选择与运算。图 3 展示了 1998 年至 2018 年间我国老年人孤独感的变化模式。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.1)

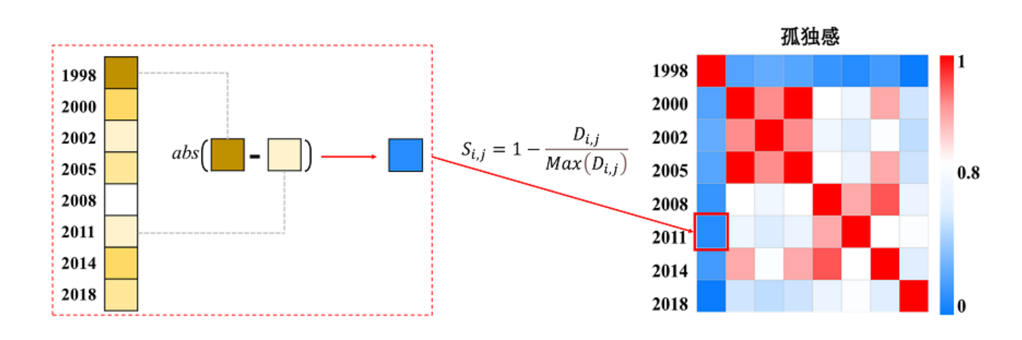


图 3　老年人孤独感水平变迁的表征相似性矩阵(国家尺度)的构建过程：计算 8 个年份的老年人孤独感水平两两之间的差异，对差异值进行归一化处理作为相似性得分，8×8 矩阵中的每个单元格代表了每两个年份孤独感水平的相似性。

2.2.2 跨时间的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-时间维度)

社会变迁中的文化、心理与行为变化因素往往是由多种指标构成。以往研究通常将不同维度指标进行简单平均或加权平均，这种做法使我们难以对维度之间的关系即关系变化进行深入探索。为此，当需要分析的社会变迁变量包含多维度测量指标时(如人格、主观幸福感、自我建构等)，可以在二阶水平上构建该变量的多维度跨时间 RSA 矩阵，该方法既能保留该因素内部不同变量间的关系，又能从总体层面反映其随时间的变迁过程。构建二阶表征相似性矩阵分为两步，首先在需要在多个时间点上构建目标变量在一阶水平(如意间维度)上表征相似性矩阵。随后将多个时间点上的 RSA 矩阵向量化，并计算成对向量之间的相关关系，并用相关系数构建目标变量在二阶水平上的(如时间维度)表征相似性矩阵。

本例构建了老年人心理健康水平变迁的多维表征相似性矩阵(图 4)。具体方法如下，首先构建每个年份下老年人的心理健康跨意间的一阶 RSA 矩阵，即在每个年份下计算 7 个心理健康项目之间的绝对差值，然后使用公式$S_{i,j} = 1 - \frac{D_{i,j}}{Max(D_{i,j})}$进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。该公式中$S_{i,j}$表示题目 i 与题目 j 的相似性，$D_{i,j}$表示题目 i 与题目 j 得分的绝对差值。其次构建跨时间的老年人心理健康的二阶 RSA 矩阵，此时，将 8 个时间点上的心理健康各维度 RSA 矩阵转化为 8 个心理健康水平向量，每对时间点之间心理健康水平相似度由对应两个向量的 Pearson 相关系数表示。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.2~S1.3)

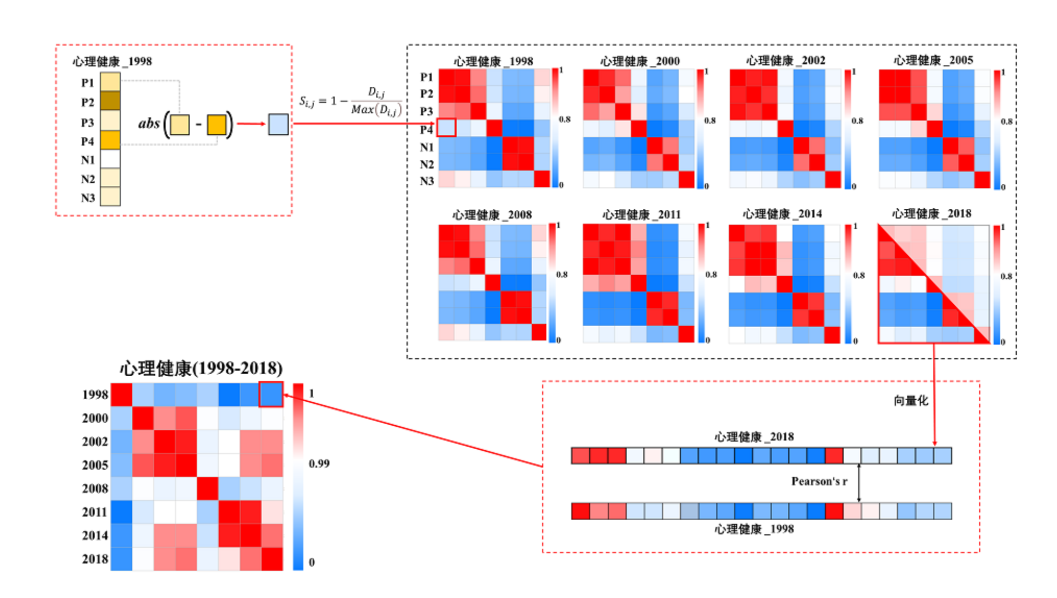


图 4　老年人心理健康模式变迁的表征相似性矩阵(国家尺度)的建构过程：分别在 1998～2018 年间 8 个年份，对 7 个心理健康题目两两之间的分数差异进行归一化处理，每个 8×8 矩阵代表了每个年份下 7 个心理健康题目间关系的相似性。随后，将每个年份的心理健康相似性矩阵向量化并进行两两比较，使用 Pearson 相关系数表示两个向量之间的相似性，28 对年份的 Pearson 相关系数代表了 8 个年份间心理健康题目的关系模式的相似性。

2.2.3 跨时间的多变量表征相似性矩阵(地区尺度，意间-时间维度)

受到经济、文化、环境等因素的影响，不同地区的社会变迁模式与进程可能存在差异。因此，除了在国家水平上探索社会变迁之外，还可以在地区水平上对社会变迁模式进行考察，同时探索造成社会变迁模式差异的潜在调节因素。这种在多尺度水平构建 RSA 矩阵的方式，适用于多层嵌套数据(如学校-班级-学生，大洲-国家-个体)，基于尺度内部与不同尺度间的比较，可以从模式角度阐释社会变迁因素在多层面的变化规律。

本例构建了中国 22 个省(自治区、直辖市)老年人认知功能变迁的 RSA 矩阵(图 5)。首先在每个年份下分别构建 22 个省(自治区、直辖市)老年人的认知功能各维度的 RSA 矩阵，即在每个年份下分别计算 22 个省(自治区、直辖市)老年人 6 个认知功能项目之间的绝对差值，随后对绝对差值进行归一化处理使其转化为取值范围在[0,1]区间的相似度得分。其次分别构建 22 个省(自治区、直辖市)跨时间的老年人认知功能的 RSA 矩阵，我们将 8 个时间点上的认知功能各维度 RSA 矩阵转化为 8 个认知功能水平向量，每对时间点之间认知功能水平相似度由对应两个向量的 Pearson 相关系数表示。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.3)

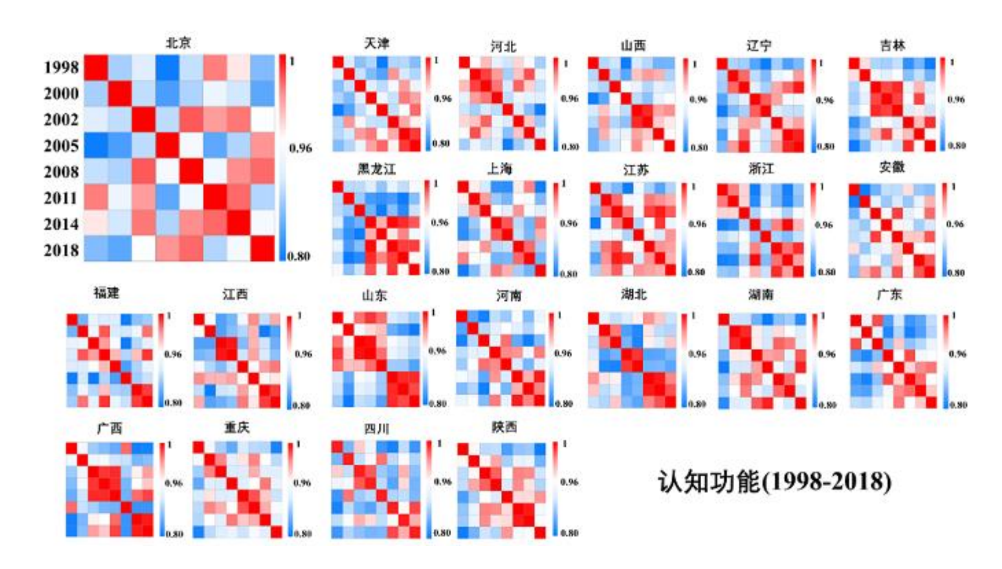


图 5　老年人认知功能水平变迁的 RSA 矩阵(地区尺度)：8×8 矩阵的每个单元格表示每个省(自治区、直辖市)中 6 个老年人认知功能题目间关系模式在两个年份之间的差异，矩阵整体代表了该省(自治区、直辖市)老年人认知功能结构在时间维度上的变化。

2.2.5 跨地区的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-空间维度)

表征相似性分析还可以应用于跨地区水平的分析。不同于跨时间分析是对某变量的社会变迁模式的探索，构建跨地区的 RSA 矩阵，可以帮助我们考察目标变量在不同地区上的分布模式，并进一步探索产生区域差异的影响因素。

本例构建了跨地区的老年人心理健康模式 RSA 矩阵(图 6)。首先在 22 个省(自治区、直辖市)下构建老年人的心理健康各维度变迁的 RSA 矩阵，即计算各省(自治区、直辖市)心理健康 7 个维度在 8 个时间点上的相关性。其次构建跨地区的老年人心理健康的 RSA 矩阵，我们将 22 个省(自治区、直辖市)上的心理健康各维度相关性矩阵转化为 22 个心理健康水平向量，每对省(自治区、直辖市)之间心理健康水平相似度由对应两个向量的 Pearson 相关系数表示。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.4)

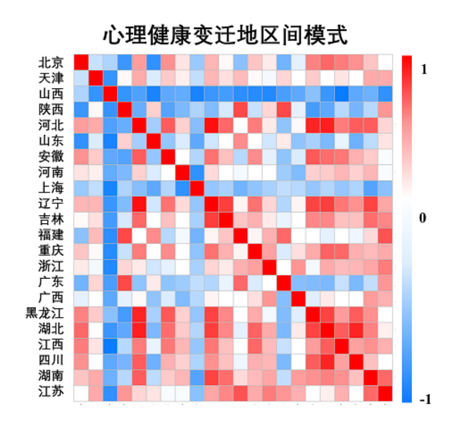


图 6　跨地区老年人心理健康水平的 RSA 矩阵(国家尺度)：21×21 矩阵的每个单元格表示每两个省(自治区、直辖市)的心理健康题目间的关系在 1998～2018 年间的变化模式的相似性，矩阵整体代表了 21 个地区间心理健康变迁模式的相似性。

2.2.6 跨地区的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-时间-空间维度)

同样，在不同时间点上也可以构建跨地区水平的表征相似性模型，此时的跨地区 RSA 矩阵体现了不同时期某变量的地区间模式，进一步可以从时间演化角度分析社会经济文化因素对地区间表征相似性模式的影响。

以老年人心理健康水平为例，首先构建每个年份下 22 个省(自治区、直辖市)老年人的心理健康各维度的 RSA 矩阵，即在每个年份下计算 22 个省(自治区、直辖市)7 个情绪与健康维度项目之间的绝对差值，随后对绝对差值进行归一化处理使其转化为取值范围在[0,1]区间的相似度得分。其次构建跨地区的老年人心理健康的 RSA 矩阵，在每个时间点，我们将 22 个省(自治区、直辖市)上的心理健康各维度 RSA 矩阵转化为 22 个心理健康水平向量，每对省(自治区、直辖市)之间心理健康水平相似度由对应两个向量的 Pearson 相关系数表示(图 7)。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.5)

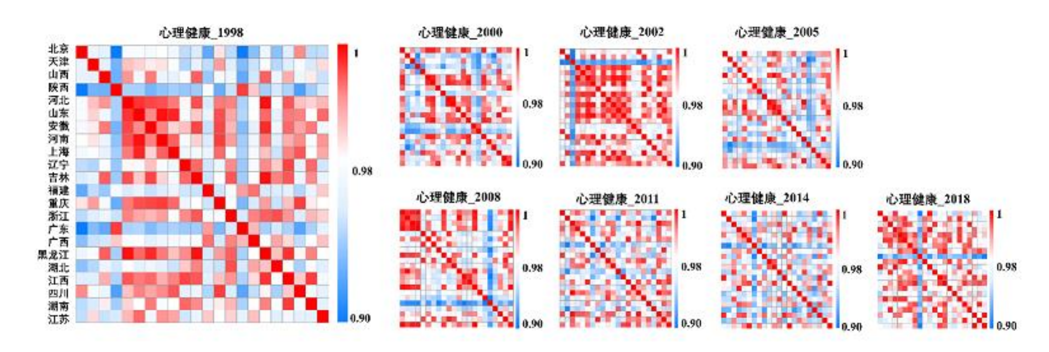


图 7　各年份 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康模式的表征相似性矩阵(国家尺度)：每个 21×21 矩阵表示每个年份下 21 个地区间心理健康模式的相似性，矩阵的每个单元格表示每两个省(自治区、直辖市)在某年份下的心理健康模式矩阵之间的相似性。

2.2.7 概念模型的表征相似性矩阵

在社会变迁过程中，通常伴随着国家或地区政策的制定与调整，重大社会事件也时有发生，而此类因素均可能对社会经济文化、民众行为心理等产生影响。由于上述因素难以使用量化的方式进行计算，以往研究通常使用纵向比较的方法对其影响进行探索。我们提出可以使用 RSA 分析构建概念模型来表示此类政策变迁因素的表征相似性模式，由此，可以结合传统的分析方式对其影响因素与作用机制进行深入探索。

例如，可依据重大社会事件或国家政策变革构建跨时间的政策变迁模型(如中国“五年规划”)，也可以依据各地区的自然环境特征构建跨地区的自然环境模型(如水稻种植面积)，或基于社会理论构念(如文化松紧度概念模型)构建跨时间或地区的概念模型。并通过检验社会变迁模式与概念模型之间的关联性来检验政策、环境、理论的潜在作用机制(图 8)。(模型构建具体步骤见补充材料 S1.6)

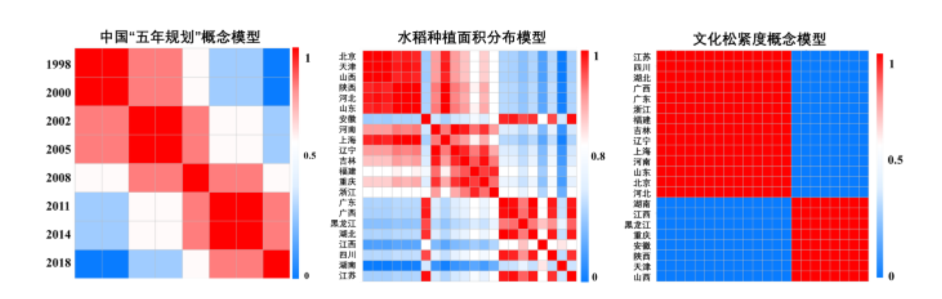


图 8 概念模型的表征相似性矩阵。左：中国“五年规划”变迁矩阵，8×8 矩阵中每个单元格表示每两个年份所属的中国“五年规划”轮次的相似性；中：水稻种植面积分布矩阵，21×21 矩阵中的每个单元格表示每两个省(自治区、直辖市)种植水稻面积的相似性；右：文化松紧度概念矩阵，21×21 矩阵中的每个单元格表示每两个省(自治区、直辖市)所属文化(宽松/紧致)间的相似性。

2.3 RSA 分析在社会变迁研究中的应用实例

除了在不同尺度上构建 RSA 矩阵，还可以对 RSA 矩阵进行客观量化比较。如将个人与国家尺度的 RSA 矩阵进行比较，可以揭示个体与国家间的相似性与关联性。将概念尺度与个人或国家尺度的 RSA 矩阵进行比较，可以检验研究数据与理论模型间的一致性。为了阐明 RSA 方法在社会文化变迁研究中的适用性与有效性，本研究演示了两种跨尺度多维变量间的表征相似性比较。此外，由于 RSA 矩阵比较包含多种形式(如单一尺度单维变量间 RSA 比较、单一尺度多维变量间 RSA 比较、跨尺度 RSA 比较等)，本研究在补充材料中列举了不同 RSA 矩阵比较的实际应用场景(具体结果见补充材料 S2)。

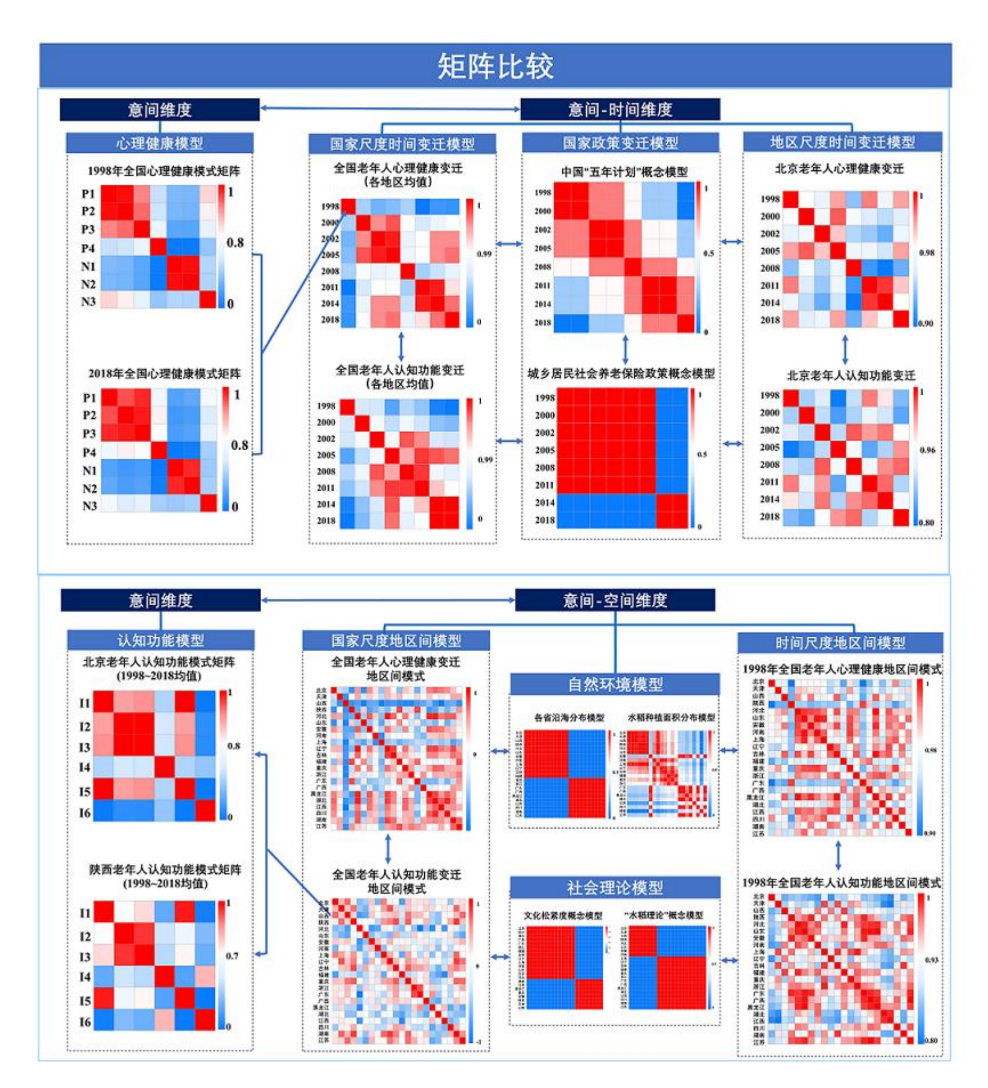


图 9　社会变迁研究中表征相似性模型比较：矩阵比较的形式有多种，可以比较单维变量间的表征相似性(如在意间维度比较 1998 与 2018 年全国老年人心理健康模式矩阵)、多维变量间的表征相似性(如在时间维度比较全国老年人心理健康变迁模式矩阵与认知功能变迁模式矩阵)以及不同尺度表征相似性模式，如国家-地区尺度(如北京与全国老年人心理健康变迁模式)、国家-概念尺度(如全国老年人心理健康地区间模式与“水稻理论”概念模型)。

2.3.1 老年人心理健康变迁国家模式与地区模式间的表征相似性(跨尺度跨时间多变量表征相似性)

RSA 分析的一个优势在于可以实现跨尺度数据间的比较，从而更高效的发掘特定的社会变迁类型和模式，以便更有效地分析社会变迁过程。本例以地区-国家尺度为例，分析了各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康变迁模式的相关性。使用 Mantel 检验分别对 22 个省(自治区、直辖市)的老年人心理健康变迁 RSA 矩阵与全国老年人心理健康变迁矩阵进行了相关性分析，结果发现，部分省份老年人心理健康变迁 RSA

矩阵与全国老年人心理健康变迁矩阵存在显著的表征相似性(表 1)。

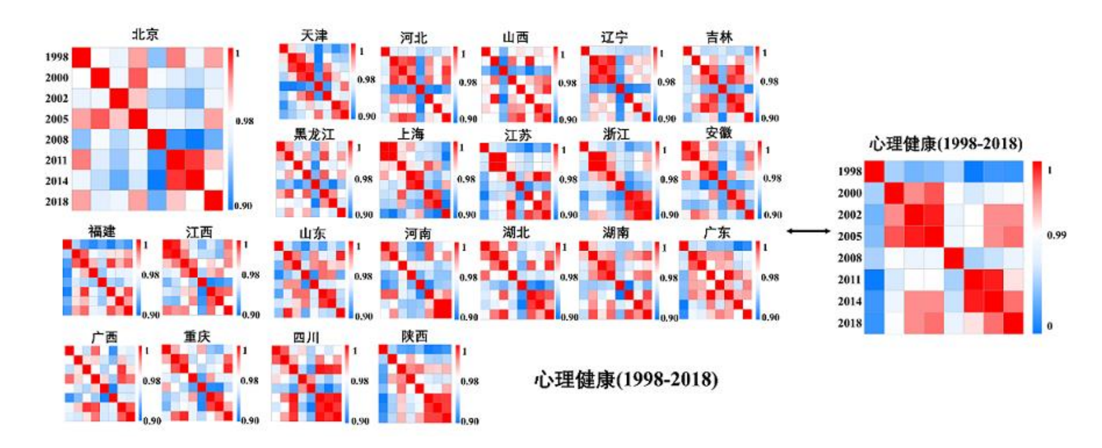


图 10　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式的相关性(示意图)

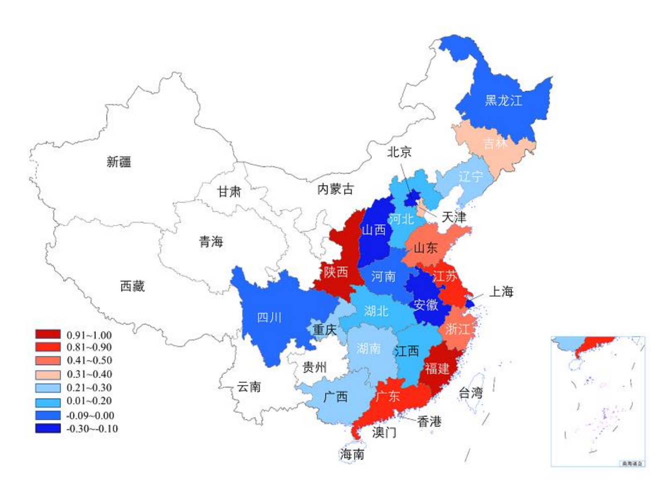


图 11　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式的表征相似性值(r 值)

表 1　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式的表征相似性值(r 值)

		Pearson correlation	Mantel test
	r	p	p
陕西	0.94	<0.001***	0.005**
福建	0.95	<0.001***	0.003**
广东	0.87	<0.001***	0.070
江苏	0.81	<0.001***	<0.001***
山东	0.50	0.007**	0.060
浙江	0.43	0.022*	0.011*
吉林	0.34	0.073	0.131
天津	0.32	0.095	0.137

重庆	0.26	0.180	0.128
广西	0.24	0.221	0.151
辽宁	0.21	0.286	0.130
湖南	0.21	0.294	0.168
河北	0.15	0.455	0.157
江西	0.06	0.751	0.204
湖北	0.04	0.835	0.188
四川	-0.04	0.839	0.375
黑龙江	-0.06	0.764	0.337
河南	-0.07	0.709	0.397
北京	-0.12	0.548	0.533
安徽	-0.13	0.506	0.483
上海	-0.17	0.378	0.719
山西	-0.24	0.228	0.937

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

进一步，为考察地区社会经济、文化与自然发展水平是否是影响各省(自治区、直辖市)与总体老年人心理健康变迁模式间表征相似性的潜在因素，可以结合调节效应分析进行进一步探索。纳入 22 个省(自治区、直辖市)与全国老年人心理健康变迁模式间表征相似性值(r值)，以及 22 个省(自治区、直辖市)GDP、CPI、医疗卫生机构数量、广播电视节目综合人口覆盖率、PM2.5(1998～2018 年均值)进行调节分析，并对分析结果进行 bootstrap 估计(bootstrap=1000 次)。结果发现，GDP 水平与地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的相似性显著相关(r = 0.46, p = 0.032, 95% Bootstrap CI = [0.033, 0.825])，即地区 GDP 水平越高时，地区老年人心理健康变迁模式与全国模式越相似(表 2，图 12)。稳健性检验支持了上述结果的有效性(补充材料 S3)。

表 2　社会经济文化水平与 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性值的相关性

		M	*SD*	1
1	表征相似性值 r	0.44	0.25	
2	GDP(1998～2018 年均值)	14817.76	9197.24	0.46*
3	CPI(1998～2018 年均值)	101.98	0.33	-0.28
4	医疗卫生机构数量(1998～2018 年均值)	21444.35	11708.51	0.06
5	广播电视节目综合人口覆盖率(1998～2018 年均值)	96.03	3.11	0.04
6	pm2.5(1998～2018 年均值)	52.62	14.20	-0.29

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

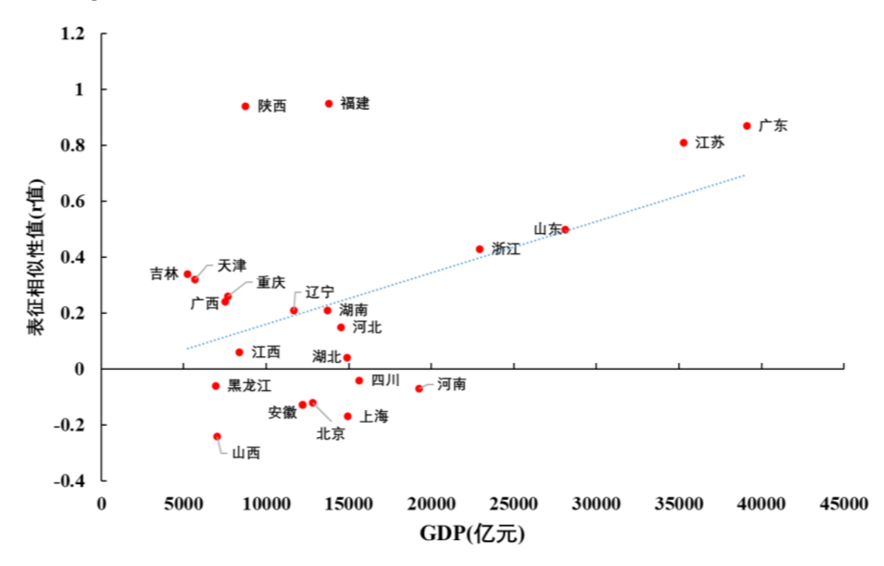


图 12　GDP 水平与 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性值的相关性

2. 3. 2 老年人心理健康变迁模式、老年人认知功能变迁模式与概念模型间的表征相似性(跨尺度多变量表征相似性分析)

在国家水平上，为考察国家“五年规划”、城乡居民社会养老保险政策对老年人心理健康与认知功能变迁的影响，使用 mantel 检验分别对上述 RSA 矩阵进行相关性分析。结果发现， 国家“五年规划”变迁模式与老年人心理健康变迁模式不存在显著的表征相似性(r = 0.18, p = 0.149)，与老年人认知功能变迁模式呈现显著的表征相似性模式(r = 0.40, p = 0.024)。城乡居民社会养老保险政策理论矩阵与老年人心理健康变迁模式、老年人认知功能变迁模式均不存在显著的表征相似性(r = -0.14, p = 0.536； r = -0.20, p = 0.287)。

为考察各省份的自然环境特征对老年人心理健康与认知功能变迁分布的地区间模式的影响，计算各省份沿海分布矩阵、水稻种植面积分布矩阵与老年人心理健康与认知功能变迁地区间模式矩阵的表征相似性。结果发现，各省份沿海分布矩阵与老年人心理健康变迁地区间模式呈现出显著的表征相似性(r = 0.10, p = 0.049)，而与老年人认知功能变迁地区间模式不存在显著的表征相似性(r = -0.04, p = 0.711)。水稻种植面积分布的表征相似性矩阵与老年人心理健康、认知功能地区间模式均不存在显著的表征相似性(r = -0.06, p = 0.705； r = -0.01, p = 0.462)。

此外，还分别构建了两种社会理论模型来考察各地区的区域属性对老年人心理健康与认知功能变迁分布的地区间模式的影响，依据各省份文化松紧度得分构建“文化松紧度”概念

模型(Chua et al., 2019)，依据各区域种植小麦、水稻面积构建“水稻理论”概念模型(Talhelm et al., 2014)。结果发现，文化松紧度概念模型与老年人心理健康变迁地区间模式呈现出显著的表征相似性(r=0.21, p=0.024)。

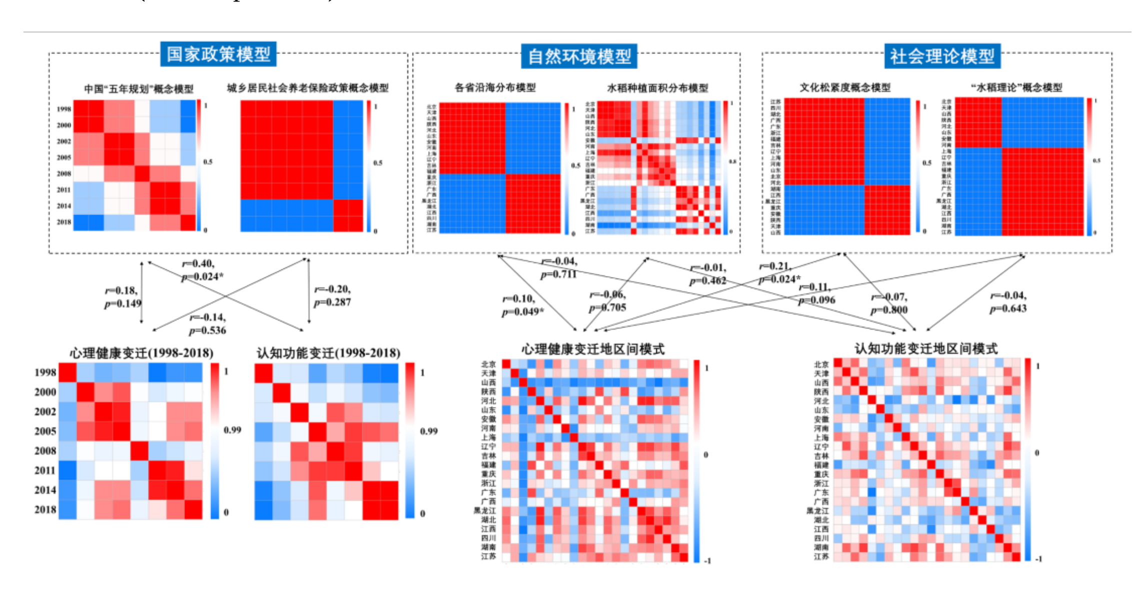


图 13　老年人心理健康变迁模式、老年人认知功能变迁模式与国家政策、自然环境及社会理论概念模型间的表征相似性(示意图)

3. 讨论

在本研究中，我们引入了 RSA 方法，从模式角度开展了社会文化变迁分析，以更全面的理解由多维变量构成的社会经济文化整体变迁机制。以社会经济文化变迁与老年人心理健康及认知功能的关系为例，介绍了如何构建不同维度、不同尺度数据的表征相似性矩阵，并分别展示了如何对跨尺度、多维度表征相似性模型进行分析与比较。分别在国家尺度、地区尺度、国家-地区跨尺度上构建了时间、意间、空间维度的表征相似性模型，并结合传统的相关、回归方法进行了统计分析，系统展示了表征相似性分析方法在解决社会变迁研究问题中的应用方法。

RSA 分析为研究社会变迁问题提供了新视角。当前的社会变迁研究通常采用相关或回归分析方法，基于不同时间点的单维心理或行为数据开展研究，忽视了变量本身的多维结构。例如，以往有研究使用问卷测量了我国国民心理健康素养水平，并基于传统 HLM 方法考察了国民心理健康素养的影响因素，研究结果发现，虽然 GDP 与地区分布具有解释效应，但其仅能解释 1.4%与 0.8%的心理健康素养总分差异，据此研究者认为公众心理健康素养的差异可能来自个体间差异而非地区或经济因素的影响(江光荣 等, 2021)。在上述研究中，研究者直接对变量各维度分数加和平均作为该变量总体水平，这种分析方式并未考虑变量内部各维度间的差异，因此只能对不同维度变量进行两两比较，在各维度上获取定量的描述性结果，无法获取其整体结构的信息。RSA 作为一种多元模式分析方法，能够提取原始数据的高阶模式特征，同时还支持对跨尺度数据的量化比较。在当前的研究中，我们构建并比较了地区与国家间老年人的心理健康变迁模式，并将 RSA 与调节效应分析、多元线性回归分析相结合，考察了地区与国家心理健康水平变迁的关联性如何被社会经济变迁因素调节。研究发现，当地区的 GDP 水平越高的地区，老年人心理健康变迁模式与国家总体变迁模式越相似，该结果指出，地区经济水平是影响当地心理健康变迁模式的重要因素，当经济水平较低时，地区心理健康各维度的发展呈现出与总体水平不同的模式，因此，未来研究需要关注这种发展模式的不平衡。总的来说，由于 RSA 方法考虑了变量间的模式结构关系，因此可能得出基于数值的相关或回归分析无法揭示的结果，这可以为现有的理论与发现进行补充。

RSA 还可以用以定量地考察社会变迁模式与理论模型的关系，以探索多种心理变量组成的整体结构如何被社会文化或社会规范所塑造。传统分析方式只能基于单维线性数据对相关理论或概念进行符合或不符合的二元推断，例如，张积家等人(2023)通过对族际通婚相关

民族志进行文本分析，用以揭示民族心理由“异己观”到“天下观”的演化趋势，上述研究虽然得出了统合性结论，但其难以对结论进行定量研究。RSA 从模式角度提取了理论或概念模型的高维结构，以表征相似性模式为基础为不同来源或形式的数据提供了一个公共空间，使得比较不同尺度数据成为可能。这种直接比较从客观角度量化了不同尺度数据与概念或理论模型间的相似性关系，为未来研究探索心理或行为变量的理论基础或概念框架提供了新思路。本研究发现文化松紧度概念模型与老年人心理健康的地区间模式具有显著的表征相似性。文化松紧度指一个社会以规则和规范为特征的程度，以及当人们偏离这些规则和规范时受到惩罚或制裁的程度(Gelfand et al., 2006)。当前的研究结果表明，在文化松紧度越相似的地区，老年人的心理健康结构的变迁模式也越相似，这事实上反映了社会价值取向与社会规范对当地老年人心理健康状况的影响，社会文化相似的地区，其民众心理健康各维度的关系也表现出较为一致的变化模式。

从模式角度探索社会变迁中的心理与行为变化，拓宽了现有的研究思路。不同于以往研究使用单维线性水平的分析解读社会变迁过程，RSA 方法既保留了社会变迁变量各维度的原始信息，也能够直观展示各维度关系的变化。例如，在本研究中我们分别构建并比较了老年人心理健康的单变量与多变量表征相似性矩阵。同时，RSA 方法还可以直接比较不同尺度的社会变量，探索不同社会变量的模式关系。当然，RSA 方法也存在一些不足，其中一个关键的问题是，RSA 矩阵的构建与比较很大程度上依赖于相关分析，对于相关性的解释可能有不同的观点与看法。同时，基于相关系数的 RSA 分析易受到异常值的影响，应采用置换检验来避免该问题(Popal et al., 2019)。此外，在与其他方法相结合时，为避免小样本或异常值带来的统计偏差，应采用稳健性检验确保研究结果的可靠性。

在未来的社会变迁研究中，可以将 RSA 方法与传统的分析方式相结合，如回归分析、相关分析等，不仅可以探索其他社会经济文化指标的影响，也可以考虑将多个指标整合起来，考察社会经济文化变迁整体模式如何影响老年人的心理健康与认知功能。此外，该方法还能够结合理论、政策模型进行探索，也可以应用于检验国家经济、文化、社会保障等政策的潜在影响。在社会变迁领域的议题还包括文化变迁、行为变化、以及其他心理因素的变化(蔡华俭 等, 2020)。未来也可以使用 RSA 方法探讨多种社会变迁过程，同时深入挖掘其中的推动因素与变化机制。总的来说，基于 RSA 方法开展社会变迁研究，帮助我们从多维度视角考察了不同层面的变迁过程，有助于我们更好的理解社会变迁中变与不变的规律。

4. 参考文献

Cai, H. J., Huang, Z. H., Lin, L., Zhang, M. Y., Wang, X. O., Zhu, H. J., … Jing, Y. M. (2020). The psychological change of the Chinese people over the past half century: A literature review. *Advances in Psychological Science*, 28(10), 1599–1618.

[蔡华俭, 黄梓航, 林莉, 张明杨, 王潇欧, 朱慧珺, . . . 敬一鸣. (2020). 半个多世纪来中国人的心理与行为变化——心理学视野下的研究. *心理科学进展*, *28*(10), 1599–1618.]

Cai, H. J., Zhang, M. Y., Bao, H. W. S., Zhu, H. J., Yang, Z. Y., Cheng, X., … Wang, Z. X. (2023). Examining societal change from the perspective of psychology: Research design and analytic techniques. *Advances in Psychological Science*, 31(2), 159–172.

[蔡华俭, 张明杨, 包寒吴霜, 朱慧珺, 杨紫嫣, 程曦, . . . 王梓西. (2023). 心理学视野下的社会变迁研究：研究设计与分析方法. *心理科学进展*, *31*(02), 159–172.]

Cai, H. J., Zou, X., Feng, Y., Liu, Y. Z., & Jing, Y. M. (2018). Increasing Need for Uniqueness in Contemporary China: Empirical Evidence. *Frontiers in Psychology*, *9*

Chua, R. Y. J., Huang, K. G., & Jin, M. (2019). Mapping cultural tightness and its links to innovation, urbanization, and happiness across 31 provinces in China. *PNAS*, *116*(14), 6720–6725.

Enke, B. (2023). Market exposure and human morality. *Nature Human Behaviour*, *7*(1), 134–141.

Gelfand, M. J., Nishii, L. H., & Raver, J. L. (2006). On the nature and importance of cultural tightness-looseness. *Journal of Applied Psychology, 91*(6), 1225–1244.

Haxby, J. V., Connolly, A. C., & Guntupalli, J. S. (2014). Decoding neural representational spaces using multivariate pattern analysis. *Annual Review of Neuroscience*, *37*, 435–456.

Huang, G. L., Yu, X. L., Long, Q. Y., Huang, L. Q., & Luo, S. Y. (2022). The impact of economic freedom on COVID-19 pandemic control: the moderating role of equality. *Globalization and Health*, *18*(1), 15.

Huang, L. Q., Sun, Y., & Luo, S. Y. (2022). The impact of individualism on the efficiency of epidemic control and the underlying computational and psychological mechanisms. *Acta Psychologica Sinica*, *54*(05), 497–533.

[黄丽芹, 孙寅, 罗思阳. (2022). 个人主义文化价值观对疫情控制效果的影响及其计算心理机制 *心理学报*, *54*(05), 497–533.]

Jiang, G. R., Li, D. Y., Ren, Z. H., Yan, Y. P., Wu, X. C., Zu, X., . . . Zhang. L. (2021). The status quo and characteristics of Chinese mental health literacy. *Acta Psychologica Sinica*, *53*(02), 182–201.

[江光荣, 李丹阳, 任志洪, 闫玉朋, 伍新春, 朱旭, . . . 张琳. (2021). 中国国民心理健康素养的现状与特点. *心理学报*, *53*(02), 182–201.]

Liu, Z. X.(2017). Transmission of Religious Affiliation across Generations: The case of Taiwan. *Sociological Studies*, *32*(01), 193–216+246.

[刘子曦. (2017). 宗教信仰的代际传递:基于台湾地区的数据分析. *社会学研究*, *32*(01), 193–216+246.]

Li, L. M. W., Luo, S. Y., Ma, J. J., Lin, Y., Fan, L. L., Zhong, S. Q., . . . Wu, X. (2018). Functional Connectivity Pattern Underlies Individual Differences in Independent Self-Construal. *Social*

Cognitive and Affective Neuroscience, 13(3), 269–280.

Luo, S. Y., Li, L. M. W., Espina, E., Bond, M. H., Lun, V. M.-C., Huang, L. Q., . . . Liu, J. H. (2023). Individual uniqueness in trust profiles and well-being: Understanding the role of cultural tightness–looseness from a representation similarity perspective. *British Journal of Social Psychology*, *62*(2), 825–844.

Luo, S. Y., Ma, Y. N., Liu, Y., Li, B. F., Wang, C. B., Shi, Z. H., . . . Han, S. H. (2015). Interaction between oxytocin receptor polymorphism and interdependent culture values on human empathy. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(9), 1273–1281.

Luo, S. Y., Zhang, T., Li, W. X., Yu, M. H., Hein, G., & Han, S. H. (2019). Interactions between oxytocin receptor gene and intergroup relationship on empathic neural responses to others' pain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *14*(5), 505–517.

Luo, S. Y., Zhu, Y. Y., Fan, L. Y., Gao, D. G., &Han, S. H. (2020) Resting-state brain network properties mediate the association between the oxytocin receptor gene and interdependence. *Social Neuroscience*, *15*(3), 296–310.

Luo, S. Y., Zhu, Y. Y., &Han, S. H. (2021) Functional Connectome Fingerprint of Holistic-analytic Cultural Style. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 17(2), 172–186.

Mantel, N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, *27*(2), 209–220.

Peng, L., & Luo, S. Y. (2021). Impact of social economic development on personality traits among Chinese college students: A cross-temporal meta-analysis, 2001–2016. *Personality and Individual Differences*, *171*, 110461.

Popal, H., Wang, Y., & Olson, I. R. (2019). A Guide to Representational Similarity Analysis for Social Neuroscience. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *14*(11), 1243–1253.

Talhelm, T., Zhang, X., Oishi, S., Shimin, C., Duan, D., Lan, X., & Kitayama, S. (2014). Large-scale psychological differences within China explained by rice versus wheat agriculture. *Science*, *344*(6184), 603–608.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*.

Twenge, J. M. (1997). Attitudes Toward Women, 1970–1995: A Meta-Analysis. *Psychology of Women Quarterly*, *21*, 35–51.

Xin, Z. Q., & Chi, L. P. (2008). Cross-temporal meta-analysis: Linking social change to psychological development. *Journal of East China Normal University (Educational Sciences)*, 26(2), 44–51.

[辛自强，池丽萍. (2008). 横断历史研究：以元分析考察社会变迁中的心理发展. *华东师范大学学报(教育科学版)*(02), 44–51.]

Xin, Z., Q., Zhang, M., & He, L. (2012). Changes in College Students' Mental Health: A Cross-Temporal Meta-Analysis. *Acta Psychologica Sinica*, *52*(6), 742−757.

[辛自强，张梅，何琳. (2012). 大学生心理健康变迁的横断历史研究. *心理学报*, *44*(05), 664–679.]

Yamawaki, N. (2012). Within-Culture Variations of Collectivism in Japan. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *43*(8), 1191–1204.

Yuan, H., Long, Q. Y., Huang, G. L., Huang, L. Q., & Luo, S. Y. (2022). Different roles of interpersonal trust and institutional trust in COVID-19 pandemic control. *Social Science & Medicine*, *293*, 114677.

Yu, F., Peng, T., Peng, K. P., Tang, S., Chen, C. S., Qian, X. J., . . . Chai, F. Y. (2016). Cultural Value Shifting in Pronoun Use. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *47*(2), 310–316.

Yu, M. H., Huang, L. L., Mao, J. Q., Dna Gese, &Luo, S. Y. (2022) Childhood maltreatment, automatic negative thoughts and resilience: the protective roles of culture and genes. *Journal of Interpersonal Violence*. 37(1–2). 349–370.

Zhang, J. R., Hua, S. W., Ling, H., & Tang, Z. (2020) An Implicit Experimental Study of Intergenerational Differences in Work Values. *Chinese Journal of Clinical Psychology*, *28*(04), 675–678+738.

[张建人, 花少武, 凌辉, & 唐忠. (2020). 工作价值观代际差异的内隐实验研究. *中国临床心理学杂志*, *28*(04), 675–678+738.]

Zhang, J. J., Zhang, H., & Feng, X. H. (2023). The Change of Ethnic Psychology from "View of Otherness" to"View of the World"——Meta-Ethnographic Analysis from the Perspective of Interracial Marriage. *Journal of South China normal University (Social Science Edition)*, (2): 63–83.

[张积家,张航,冯晓慧.(2023). 从"异己观"到"天下观"的民族心理变迁——基于族际通婚视角的元民族志分析.*华南师范大学学报(社会科学版)*, (2):63–83.]

Representation similarity analysis – A new perspective to study sociocultural change: Taking the mental health of elderly people as an example

YUAN Hang, LUO Siyang

(Department of Psychology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract

In recent years, social transformation and economic development in China have changed people's behaviour, lifestyles, and values and have directly affected individuals' mental state and behaviour. However, due to the limitations of research methods, previous studies have explored target variables from a single dimension. They have lacked exploration of the multidimensional structure of complex variables and have been unable to directly compare cross-scale data. Therefore, social and cultural psychology research needs to incorporate a systems science perspective to study and understand the structure and pattern of social changes.

This study introduces a new approach for exploring social change from the perspective of pattern-representational similarity analysis (RSA). Based on the Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey (CLHLS)-Longitudinal Data (1998～2018), we demonstrate the process of the construction of representation similarity matrices and provide examples of multivariable-unidimensional pattern analysis (time, space, mental space), multivariable cross-dimensional pattern analysis (mental space-time, mental space-space, mental space-time-space), cross-scale model analysis (region-country), conceptual model analysis, and coupling analysis between RSA and traditional methods.

This study finds that the pattern and level of economic development moderates the similarity between regional mental health change patterns and the overall pattern of elderly individuals. In addition, the cultural looseness-tightness concept model and the interregional pattern of mental health among elderly individuals have significant similarities. These results show that RSA analysis can explore the relationship between variables from the perspective of patterns and can make direct quantitative comparisons of cross-scale data.

Overall, this study introduces different methods for the application of RSA in social change research through demonstrative examples. The exploration of psychological and behavioural changes in social change from a pattern perspective paves the way for future exploration.

Key words Social and cultural change, Representational Similarity Analysis (RSA), Pattern analysis, Mental health, Cognitive function, mental health of elderly

6. 补充材料：

研究社会文化变迁的新视角——表征相似性分析：以老年人心理健康为例

S1. RSA 模型构建步骤

1. 1 跨时间的单变量表征相似性矩阵(国家尺度，时间维度)

（1） 使用 lonely.xlsx 数据构建老年人孤独感水平变迁的表征相似性矩阵：

```
> lonely
# A tibble: 1 x 8
  `1998` `2000` `2002` `2005` `2008` `2011` `2014` `2018`
   <dbl>  <dbl>  <dbl>  <dbl>  <dbl>  <dbl>  <dbl>  <dbl>
1  0.643  0.750  0.742  0.750  0.766  0.775  0.760  0.792
```

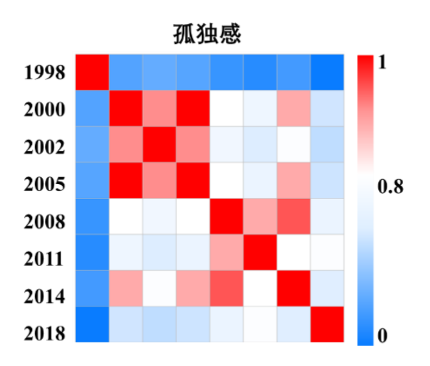
（2） 构建老年人孤独感的 RDM 矩阵：对所有年份中老年人孤独感水平均值进行成对比较，计算每两个年份的孤独感水平之间的绝对差值。

```
> lonely
           1998        2000        2002        2005        2008       2011        2014       2018
1998 0.00000000 0.106890199 0.098668230 0.106361857 0.122061829 0.13177592 0.116363684 0.14837992
2000 0.10689020 0.000000000 0.008221969 0.000528342 0.015171630 0.02488572 0.009473485 0.04148972
2002 0.09866823 0.008221969 0.000000000 0.007693627 0.023393598 0.03310769 0.017695453 0.04971169
2005 0.10636186 0.000528342 0.007693627 0.000000000 0.015699972 0.02541406 0.010001827 0.04201806
2008 0.12206183 0.015171630 0.023393598 0.015699972 0.000000000 0.00971409 0.005698145 0.02631809
2011 0.13177592 0.024885720 0.033107689 0.025414062 0.009714090 0.00000000 0.015412235 0.01660400
2014 0.11636368 0.009473485 0.017695453 0.010001827 0.005698145 0.01541224 0.000000000 0.03201623
2018 0.14837992 0.041489716 0.049711685 0.042018058 0.026318087 0.01660400 0.032016232 0.00000000
```

（3） 对数据进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

```
> lonely
          1998      2000      2002      2005      2008      2011      2014      2018
1998 1.0000000 0.2796181 0.3350297 0.2831789 0.1773696 0.1119019 0.2157720 0.0000000
2000 0.2796181 1.0000000 0.9445884 0.9964393 0.8977515 0.8322838 0.9361539 0.7203819
2002 0.3350297 0.9445884 1.0000000 0.9481491 0.8423399 0.7768722 0.8807423 0.6649703
2005 0.2831789 0.9964393 0.9481491 1.0000000 0.8941907 0.8287230 0.9325931 0.7168211
2008 0.1773696 0.8977515 0.8423399 0.8941907 1.0000000 0.9345323 0.9615976 0.8226304
2011 0.1119019 0.8322838 0.7768722 0.8287230 0.9345323 1.0000000 0.8961299 0.8880981
2014 0.2157720 0.9361539 0.8807423 0.9325931 0.9615976 0.8961299 1.0000000 0.7842280
2018 0.0000000 0.7203819 0.6649703 0.7168211 0.8226304 0.8880981 0.7842280 1.0000000
```

（4） 对上述 RSA 矩阵进行画图。



***上述模型构建所用数据为 lonely.xlsx 文件，代码见 model construction_lonely.R 文件，数**

据文件及代码可从 https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA 获取。

1.2 跨时间的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-时间维度)

（1） 使用 mentalhealth.xlsx 数据构建老年人心理健康水平变迁的表征相似性矩阵：

```
> mentalhealth
       1998      2000      2002      2005      2008      2011      2014      2018
1 0.4826408 0.4690302 0.4627535 0.4644278 0.4717691 0.4681414 0.4765980 0.4880586
2 0.5119973 0.4879182 0.4732702 0.4642548 0.4604506 0.4519758 0.4511233 0.4479195
3 0.3858579 0.4175323 0.4539271 0.4272987 0.4011397 0.4646909 0.4552019 0.4661159
4 0.3316019 0.3058714 0.3408939 0.3276533 0.2014847 0.3981849 0.3730944 0.3267327
5 0.6645442 0.7777717 0.7637301 0.7704567 0.7610571 0.7825676 0.7712624 0.8008429
6 0.6434651 0.7503553 0.7421334 0.7498270 0.7655270 0.7752411 0.7598288 0.7918451
7 0.4936997 0.5909141 0.5656873 0.5707551 0.5704726 0.5786065 0.5654587 0.6124231
```

（2） 构建每个年份下老年人的心理健康跨意间的一阶 RSA 矩阵：在每个年份下计算 7 个心理健康项目之间的绝对差值，然后将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

```
> a1998
          1         2         3          4         5          6         7
1 1.0000000 0.9118269 0.7093105 0.54635128 0.4536487 0.51696024 0.9667841
2 0.9118269 1.0000000 0.6211374 0.45817816 0.5418218 0.60513337 0.9450428
3 0.7093105 0.6211374 1.0000000 0.83704076 0.1629592 0.22627076 0.6760946
4 0.5463513 0.4581782 0.8370408 1.00000000 0.0000000 0.06331152 0.5131354
5 0.4536487 0.5418218 0.1629592 0.00000000 1.0000000 0.93668848 0.4868646
6 0.5169602 0.6051334 0.2262708 0.06331152 0.9366885 1.00000000 0.5501761
7 0.9667841 0.9450428 0.6760946 0.51313538 0.4868646 0.55017614 1.0000000
> a2000
          1         2         3          4         5          6         7
1 1.0000000 0.9599745 0.8908712 0.65425162 0.3457484 0.40384615 0.7417169
2 0.9599745 1.0000000 0.8508457 0.61422614 0.3857739 0.44387164 0.7817424
3 0.8908712 0.8508457 1.0000000 0.76338044 0.2366196 0.29471733 0.6325880
4 0.6542516 0.6142261 0.7633804 1.00000000 0.0000000 0.05809778 0.3959685
5 0.3457484 0.3857739 0.2366196 0.00000000 1.0000000 0.94190222 0.6040315
6 0.4038462 0.4438716 0.2947173 0.05809778 0.9419022 1.00000000 0.6621293
7 0.7417169 0.7817424 0.6325880 0.39596849 0.6040315 0.66212929 1.0000000
> a2002
          1         2         3         4         5         6         7
1 1.0000000 0.9751283 0.9791255 0.7118042 0.2881958 0.3392716 0.7565634
2 0.9751283 1.0000000 0.9542538 0.6869325 0.3130675 0.3641433 0.7814351
3 0.9791255 0.9542538 1.0000000 0.7326786 0.2673214 0.3183972 0.7356889
4 0.7118042 0.6869325 0.7326786 1.0000000 0.0000000 0.0510758 0.4683675
5 0.2881958 0.3130675 0.2673214 0.0000000 1.0000000 0.9489242 0.5316325
6 0.3392716 0.3641433 0.3183972 0.0510758 0.9489242 1.0000000 0.5827083
7 0.7565634 0.7814351 0.7356889 0.4683675 0.5316325 0.5827083 1.0000000
> a2005
          1         2         3          4         5          6         7
1 1.0000000 0.9996093 0.9161498 0.69111686 0.3088831 0.35547199 0.7598769
2 0.9996093 1.0000000 0.9165405 0.69150755 0.3084925 0.35508131 0.7594863
3 0.9161498 0.9165405 1.0000000 0.77496704 0.2250330 0.27162182 0.6760268
4 0.6911169 0.6915075 0.7749670 1.00000000 0.0000000 0.04658886 0.4509938
5 0.3088831 0.3084925 0.2250330 0.00000000 1.0000000 0.95341114 0.5490062
6 0.3554720 0.3550813 0.2716218 0.04658886 0.9534111 1.00000000 0.5955951
7 0.7598769 0.7594863 0.6760268 0.45099380 0.5490062 0.59559506 1.0000000

> a2008
          1         2         3           4           5         6         7
1 1.0000000 0.9799333 0.8747799 0.520808231 0.487116508 0.4791918 0.8250070
2 0.9799333 1.0000000 0.8948466 0.540874965 0.467049773 0.4591250 0.8049402
3 0.8747799 0.8948466 1.0000000 0.646028362 0.361896376 0.3539716 0.6997868
4 0.5208082 0.5408750 0.6460284 1.000000000 0.007924738 0.0000000 0.3458152
5 0.4871165 0.4670498 0.3618964 0.007924738 1.000000000 0.9920753 0.6621096
6 0.4791918 0.4591250 0.3539716 0.000000000 0.992075262 1.0000000 0.6541848
7 0.8250070 0.8049402 0.6997868 0.345815182 0.662109556 0.6541848 1.0000000
> a2011
          1         2         3         4         5         6         7
1 1.0000000 0.9579439 0.9910231 0.8180030 0.1819970 0.2010576 0.7126168
2 0.9579439 1.0000000 0.9669208 0.8600590 0.1399410 0.1590015 0.6705607
3 0.9910231 0.9669208 1.0000000 0.8269798 0.1730202 0.1920807 0.7036399
4 0.8180030 0.8600590 0.8269798 1.0000000 0.0000000 0.0190605 0.5306198
5 0.1819970 0.1399410 0.1730202 0.0000000 1.0000000 0.9809395 0.4693802
6 0.2010576 0.1590015 0.1920807 0.0190605 0.9809395 1.0000000 0.4884407
7 0.7126168 0.6705607 0.7036399 0.5306198 0.4693802 0.4884407 1.0000000
> a2014
          1         2         3          4         5          6         7
1 1.0000000 0.9360202 0.9462636 0.74005038 0.2599496 0.28866499 0.7768262
2 0.9360202 1.0000000 0.9897565 0.80403023 0.1959698 0.22468514 0.7128463
3 0.9462636 0.9897565 1.0000000 0.79378673 0.2062133 0.23492863 0.7230898
4 0.7400504 0.8040302 0.7937867 1.00000000 0.0000000 0.02871537 0.5168766
5 0.2599496 0.1959698 0.2062133 0.00000000 1.0000000 0.97128463 0.4831234
6 0.2886650 0.2246851 0.2349286 0.02871537 0.9712846 1.00000000 0.5118388
7 0.7768262 0.7128463 0.7230898 0.51687657 0.4831234 0.51183879 1.0000000
> a2018
          1         2         3          4         5          6         7
1 1.0000000 0.9153379 0.9537181 0.65972908 0.3402709 0.35924933 0.7376887
2 0.9153379 1.0000000 0.9616199 0.74439114 0.2556089 0.27458727 0.6530267
3 0.9537181 0.9616199 1.0000000 0.70601101 0.2939890 0.31296741 0.6914068
4 0.6597291 0.7443911 0.7060110 1.00000000 0.0000000 0.01897841 0.3974178
5 0.3402709 0.2556089 0.2939890 0.00000000 1.0000000 0.98102159 0.6025822
6 0.3592493 0.2745873 0.3129674 0.01897841 0.9810216 1.00000000 0.6215606
7 0.7376887 0.6530267 0.6914068 0.39741781 0.6025822 0.62156060 1.0000000
```

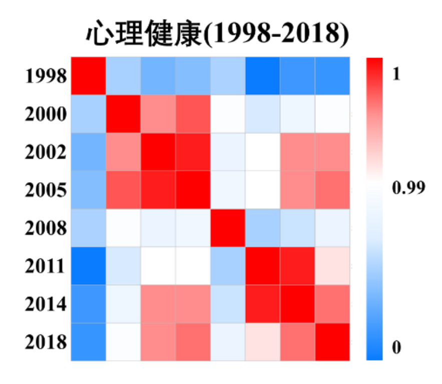
（3） 构建跨时间的老年人心理健康的二阶 RSA 矩阵：将 8 个时间点上的心理健康各维度 RSA 矩阵转化为 8 个心理健康水平向量。

```
> mentalhealth_total
            [,1]       [,2]      [,3]       [,4]        [,5]      [,6]       [,7]       [,8]
 [1,] 0.91182687 0.95997451 0.9751283 0.99960932 0.979933265 0.9579439 0.93602015 0.91533794
 [2,] 0.70931052 0.89087118 0.9791255 0.91614983 0.874779868 0.9910231 0.94626364 0.95371808
 [3,] 0.54635128 0.65425162 0.7118042 0.69111686 0.520808231 0.8180030 0.74005038 0.65972908
 [4,] 0.45364872 0.34574838 0.2881958 0.30888314 0.487116508 0.1819970 0.25994962 0.34027092
 [5,] 0.51696024 0.40384615 0.3392716 0.35547199 0.479191769 0.2010576 0.28866499 0.35924933
 [6,] 0.96678410 0.74171687 0.7565634 0.75987694 0.825006952 0.7126168 0.77682620 0.73768873
 [7,] 0.62113739 0.85084569 0.9542538 0.91654051 0.894846603 0.9669208 0.98975651 0.96161987
 [8,] 0.45817816 0.61422614 0.6869325 0.69150755 0.540874965 0.8600590 0.80403023 0.74439114
 [9,] 0.54182184 0.38577386 0.3130675 0.30849245 0.467049773 0.1399410 0.19596977 0.25560886
[10,] 0.60513337 0.44387164 0.3641433 0.35508131 0.459125035 0.1590015 0.22468514 0.27458727
[11,] 0.94504278 0.78174235 0.7814351 0.75948625 0.804940217 0.6705607 0.71284635 0.65302667
[12,] 0.83704076 0.76338044 0.7326786 0.77496704 0.646028362 0.8269798 0.79378673 0.70601101
[13,] 0.16295924 0.23661956 0.2673214 0.22503296 0.361896376 0.1730202 0.20621327 0.29398899
[14,] 0.22627076 0.29471733 0.3183972 0.27162182 0.353971638 0.1920807 0.23492863 0.31296741
[15,] 0.67609461 0.63258804 0.7356889 0.67602676 0.699786820 0.7036399 0.72308984 0.69140680
[16,] 0.00000000 0.00000000 0.0000000 0.00000000 0.007924738 0.0000000 0.00000000 0.00000000
[17,] 0.06331152 0.05809778 0.0510758 0.04658886 0.000000000 0.0190605 0.02871537 0.01897841
[18,] 0.51313538 0.39596849 0.4683675 0.45099380 0.345815182 0.5306198 0.51687657 0.39741781
[19,] 0.93668848 0.94190222 0.9489242 0.95341114 0.992075262 0.9809395 0.97128463 0.98102159
[20,] 0.48686462 0.60403151 0.5316325 0.54900620 0.662109556 0.4693802 0.48312343 0.60258219
[21,] 0.55017614 0.66212929 0.5827083 0.59559506 0.654184818 0.4884407 0.51183879 0.62156060
```

（4） 计算 8 个向量间的 Pearson 相关系数，作为每对时间点之间心理健康水平相似度。

```
> mentalhealth_totalr
          [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,6]      [,7]      [,8]
[1,] 1.0000000 0.8922164 0.8387395 0.8594422 0.8871808 0.7457430 0.7931874 0.7877975
[2,] 0.8922164 1.0000000 0.9800957 0.9887669 0.9647894 0.9229672 0.9470292 0.9683510
[3,] 0.8387395 0.9800957 1.0000000 0.9954403 0.9346631 0.9684540 0.9841835 0.9848066
[4,] 0.8594422 0.9887669 0.9954403 1.0000000 0.9396242 0.9669980 0.9831017 0.9844491
[5,] 0.8871808 0.9647894 0.9346631 0.9396242 1.0000000 0.8345238 0.8804852 0.9349926
[6,] 0.7457430 0.9229672 0.9684540 0.9669980 0.8345238 1.0000000 0.9938286 0.9638373
[7,] 0.7931874 0.9470292 0.9841835 0.9831017 0.8804852 0.9938286 1.0000000 0.9793358
[8,] 0.7877975 0.9683510 0.9848066 0.9844491 0.9349926 0.9638373 0.9793358 1.0000000
```

（5） 对上述二阶 RSA 矩阵进行画图。



*** 上述模型构建所用数据为 mentalhealth.xlsx 文件，代码见 model_construction_mentalhealth.R 文件，数据文件及代码可从 https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA 获取。**

1.3 跨时间的多变量表征相似性矩阵(地区尺度，意间-时间维度)

（1） 使用 cognition_beijing.xlsx 数据构建北京老年人认知功能水平变迁的表征相似性矩阵：

```
> cognition_beijing
       1998      2000      2002      2005      2008      2011      2014      2018
1 0.9582027 0.8097740 0.8173628 0.9130723 0.9220096 0.8751148 0.9218501 0.9248120
2 0.9252874 0.6705202 0.7590090 0.8229927 0.8184211 0.8030303 0.9035088 0.9022556
3 1.1522989 0.6777457 0.8918919 0.8284672 0.9434211 0.9494949 0.9692982 0.9614662
4 0.2931034 0.3641618 0.5000000 0.6861314 0.5605263 0.3585859 0.4736842 0.6710526
5 0.9609195 0.8115607 0.9180180 0.8948905 0.9294737 0.9494949 0.9543860 0.9563910
6 0.3475321 0.3920435 0.3489666 0.3387720 0.3201238 0.3458111 0.3477812 0.3414418
```

（2） 构建每个年份下北京老年人的认知功能跨意间的一阶 RSA 矩阵：在每个年份下计算 6 个认知功能项目之间的绝对差值，然后将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

```
> a1998
          1         2          3         4         5          6
1 1.0000000 0.9616905 0.77409547 0.2259045 0.9968379 0.28925295
2 0.9616905 1.0000000 0.73578595 0.2642140 0.9585284 0.32756246
3 0.7740955 0.7357860 1.00000000 0.0000000 0.7772575 0.06334842
4 0.2259045 0.2642140 0.00000000 1.0000000 0.2227425 0.93665158
5 0.9968379 0.9585284 0.77725753 0.2227425 1.0000000 0.28609089
6 0.2892529 0.3275625 0.06334842 0.9366516 0.2860909 1.00000000
> a2000
            1         2         3           4         5          6
1 1.000000000 0.6887479 0.7048978 0.003993423 0.9960066 0.06631292
2 0.688747945 1.0000000 0.9838501 0.315245478 0.6847545 0.37756498
3 0.704897815 0.9838501 1.0000000 0.299095607 0.7009044 0.36141511
4 0.003993423 0.3152455 0.2990956 1.000000000 0.0000000 0.93768050
5 0.996006577 0.6847545 0.7009044 0.000000000 1.0000000 0.06231950
6 0.066312924 0.3775650 0.3614151 0.937680499 0.0623195 1.00000000
> a2002
          1         2          3         4         5          6
1 1.0000000 0.8974542 0.86902928 0.4422950 0.8231176 0.17688244
2 0.8974542 1.0000000 0.76648352 0.5448408 0.7205718 0.27942820
3 0.8690293 0.7664835 1.00000000 0.3113243 0.9540883 0.04591172
4 0.4422950 0.5448408 0.31132427 1.0000000 0.2654126 0.73458745
5 0.8231176 0.7205718 0.95408828 0.2654126 1.0000000 0.00000000
6 0.1768824 0.2794282 0.04591172 0.7345874 0.0000000 1.00000000
> a2005
          1         2         3         4          5          6
1 1.0000000 0.8431489 0.8526813 0.6048393 0.96834092 0.00000000
2 0.8431489 1.0000000 0.9904676 0.7616903 0.87480799 0.15685108
3 0.8526813 0.9904676 1.0000000 0.7521580 0.88434038 0.14731870
4 0.6048393 0.7616903 0.7521580 1.0000000 0.63649833 0.39516074
5 0.9683409 0.8748080 0.8843404 0.6364983 1.00000000 0.03165908
6 0.0000000 0.1568511 0.1473187 0.3951607 0.03165908 1.00000000

> a2008
           1         2         3         4          5          6
1 1.00000000 0.8338056 0.9656480 0.4200467 0.98802479 0.03435196
2 0.83380558 1.0000000 0.7994536 0.5862412 0.82183037 0.20054638
3 0.96564804 0.7994536 1.0000000 0.3856948 0.97762325 0.00000000
4 0.42004674 0.5862412 0.3856948 1.0000000 0.40807153 0.61430523
5 0.98802479 0.8218304 0.9776232 0.4080715 1.00000000 0.02237675
6 0.03435196 0.2005464 0.0000000 0.6143052 0.02237675 1.00000000
> a2011
          1         2            3          4          5            6
1 1.0000000 0.8805923 8.767895e-01 0.14437187 0.87678955 1.232105e-01
2 0.8805923 1.0000000 7.573819e-01 0.26377953 0.75738189 2.426181e-01
3 0.8767895 0.7573819 1.000000e+00 0.02116142 1.00000000 2.220446e-16
4 0.1443719 0.2637795 2.116142e-02 1.00000000 0.02116142 9.788386e-01
5 0.8767895 0.7573819 1.000000e+00 0.02116142 1.00000000 0.000000e+00
6 0.1232105 0.2426181 2.220446e-16 0.97883858 0.00000000 1.000000e+00
> a2014
          1         2         3         4          5          6
1 1.0000000 0.9704895 0.9236575 0.2789162 0.94765085 0.07634250
2 0.9704895 1.0000000 0.8941469 0.3084267 0.91814031 0.10585305
3 0.9236575 0.8941469 1.0000000 0.2025737 0.97600664 0.00000000
4 0.2789162 0.3084267 0.2025737 1.0000000 0.22656704 0.79742632
5 0.9476509 0.9181403 0.9760066 0.2265670 1.00000000 0.02399336
6 0.0763425 0.1058531 0.0000000 0.7974263 0.02399336 1.00000000
> a2018
           1         2         3         4           5           6
1 1.00000000 0.9636202 0.9408827 0.5907267 0.949068212 0.059117254
2 0.96362015 1.0000000 0.9045029 0.6271066 0.912688364 0.095497102
3 0.94088275 0.9045029 1.0000000 0.5316095 0.991814534 0.000000000
4 0.59072671 0.6271066 0.5316095 1.0000000 0.539794918 0.468390548
5 0.94906821 0.9126884 0.9918145 0.5397949 1.000000000 0.008185466
6 0.05911725 0.0954971 0.0000000 0.4683905 0.008185466 1.000000000
```

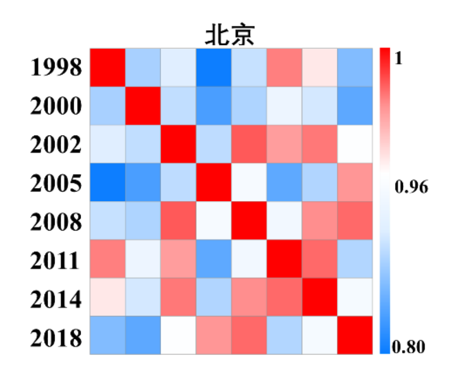
（3） 构建跨时间的北京老年人认知功能的二阶 RSA 矩阵：将 8 个时间点上的认知功能各维度 RSA 矩阵转化为 8 个认知功能水平向量。

```
> cognition_beijing_total
           [,1]        [,2]       [,3]       [,4]       [,5]         [,6]       [,7]        [,8]
 [1,] 0.96169048 0.688747945 0.89745424 0.84314892 0.83380558 8.805923e-01 0.97048945 0.963620152
 [2,] 0.77409547 0.704897815 0.86902928 0.85268130 0.96564804 8.767895e-01 0.92365750 0.940882746
 [3,] 0.22590453 0.003993423 0.44229499 0.60483926 0.42004674 1.443719e-01 0.27891619 0.590726705
 [4,] 0.99683794 0.996006577 0.82311756 0.96834092 0.98802479 8.767895e-01 0.94765085 0.949068212
 [5,] 0.28925295 0.066312924 0.17688244 0.00000000 0.03435196 1.232105e-01 0.07634250 0.059117254
 [6,] 0.73578595 0.983850129 0.76648352 0.99046761 0.79945362 7.573819e-01 0.89414695 0.904502898
 [7,] 0.26421405 0.315245478 0.54484075 0.76169034 0.58624115 2.637795e-01 0.30842673 0.627106554
 [8,] 0.95852843 0.684754522 0.72057180 0.87480799 0.82183037 7.573819e-01 0.91814031 0.912688364
 [9,] 0.32756246 0.377564979 0.27942820 0.15685108 0.20054638 2.426181e-01 0.10585305 0.095497102
[10,] 0.00000000 0.299095607 0.31132427 0.75215796 0.38569477 2.116142e-02 0.20257368 0.531609452
[11,] 0.77725753 0.700904393 0.95408828 0.88434038 0.97762325 1.000000e+00 0.97600664 0.991814534
[12,] 0.06334842 0.361415109 0.04591172 0.14731870 0.00000000 2.220446e-16 0.00000000 0.000000000
[13,] 0.22274247 0.000000000 0.26541255 0.63649833 0.40807153 2.116142e-02 0.22656704 0.539794918
[14,] 0.93665158 0.937680499 0.73458745 0.39516074 0.61430523 9.788386e-01 0.79742632 0.468390548
[15,] 0.28609089 0.062319501 0.00000000 0.03165908 0.02237675 0.000000e+00 0.02399336 0.008185466
```

（4） 计算 8 个向量间的 Pearson 相关系数，作为每对时间点之间认知功能水平的相似度。

```
> cognition_beijing_totalr
          [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,6]      [,7]      [,8]
[1,] 1.0000000 0.8412456 0.8553842 0.5433518 0.8084790 0.9504515 0.9283930 0.7062960
[2,] 0.8412456 1.0000000 0.8005183 0.5813072 0.7620184 0.8930989 0.8566706 0.6401511
[3,] 0.8553842 0.8005183 1.0000000 0.8148724 0.9678584 0.9393026 0.9651747 0.9180269
[4,] 0.5433518 0.5813072 0.8148724 1.0000000 0.9046575 0.6192133 0.7825931 0.9624914
[5,] 0.8084790 0.7620184 0.9678584 0.9046575 1.0000000 0.8758463 0.9494659 0.9687738
[6,] 0.9504515 0.8930989 0.9393026 0.6192133 0.8758463 1.0000000 0.9622721 0.7664469
[7,] 0.9283930 0.8566706 0.9651747 0.7825931 0.9494659 0.9622721 1.0000000 0.8960354
[8,] 0.7062960 0.6401511 0.9180269 0.9624914 0.9687738 0.7664469 0.8960354 1.0000000
```

（5） 对上述二阶 RSA 矩阵进行画图。



* 上述模型构建所用数据为 **cognition_beijing.xlsx** 文件，代码可见 **model_construction_cognition_beijing.R** 文件，数据文件及代码可从 **https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA** 获取。

1.4 跨地区的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-空间维度)

（1） 使用 mentalhealth_cross_region.xlsx 数据构建跨地区的老年人心理健康模式的 RSA 矩阵：

```
> CLHLSdata
     ...1  北京         1998         2000         2002         2005         2008         20
1       1   b21    0.1752874    0.2557803    0.2432432    0.2052920    0.2131579    0.18939
2       2   b22    0.2758621    0.2557803    0.2454955    0.2144161    0.2263158    0.26515
3       3   b25    0.2385057    0.2774566    0.3840090    0.2390511    0.2736842    0.14393
4       4   b27    0.3160920    0.4089595    0.4042793    0.3895985    0.5210526    0.25505
5       5   b23    0.7902299    0.8150289    0.8299550    0.8403285    0.8078947    0.85353
6       6   b24    0.7729885    0.7904624    0.8389640    0.8467153    0.8421053    0.85858
7       7   b26    0.6264368    0.5968208    0.6925676    0.6815693    0.6250000    0.65909
8      NA  <NA>           NA           NA           NA           NA           NA
9      NA  天津 1998.0000000 2000.0000000 2002.0000000 2005.0000000 2008.0000000 2011.00000
10     10   b21    0.2093023    0.2545455    0.2578125    0.2125984    0.2441176    0.20833
11     11   b22    0.2151163    0.2772727    0.2609375    0.1909449    0.2588235    0.20000
12     12   b25    0.3313953    0.3136364    0.2437500    0.1771654    0.2941176    0.25000
13     13   b27    0.2965116    0.2840909    0.2500000    0.2106299    0.5088235    0.20833
14     14   b23    0.7383721    0.8318182    0.8296875    0.8543307    0.6970588    0.83333
15     15   b24    0.6133721    0.8159091    0.8046875    0.8346457    0.7352941    0.88333
```

（2） 在 22 个省(自治区、直辖市)下构建老年人的心理健康各维度变迁的 RSA 矩阵：计算各省(自治区、直辖市)心理健康 7 个维度在 8 个时间点上的相关性。

```
> beijing
          1998      2000      2002      2005      2008      2011      2014      2018
1998 1.0000000 0.9857683 0.9798918 0.9903589 0.9555912 0.9920155 0.9806532 0.9908066
2000 0.9857683 1.0000000 0.9818965 0.9947398 0.9822527 0.9765582 0.9685308 0.9779953
2002 0.9798918 0.9818965 1.0000000 0.9881579 0.9653164 0.9580280 0.9452994 0.9809960
2005 0.9903589 0.9947398 0.9881579 1.0000000 0.9806848 0.9804157 0.9730202 0.9908055
2008 0.9555912 0.9822527 0.9653164 0.9806848 1.0000000 0.9342512 0.9200082 0.9460303
2011 0.9920155 0.9765582 0.9580280 0.9804157 0.9342512 1.0000000 0.9962636 0.9886190
2014 0.9806532 0.9685308 0.9452994 0.9730202 0.9200082 0.9962636 1.0000000 0.9857742
2018 0.9908066 0.9779953 0.9809960 0.9908055 0.9460303 0.9886190 0.9857742 1.0000000
```

```
> tianjin
          1998      2000      2002      2005      2008      2011      2014      2018
1998 1.0000000 0.9749362 0.9591425 0.9438530 0.8940997 0.9347864 0.9031908 0.9239911
2000 0.9749362 1.0000000 0.9923114 0.9747880 0.8930333 0.9673884 0.9415356 0.9406082
2002 0.9591425 0.9923114 1.0000000 0.9932073 0.8991050 0.9832621 0.9629156 0.9541767
2005 0.9438530 0.9747880 0.9932073 1.0000000 0.9152783 0.9939553 0.9761103 0.9674221
2008 0.8940997 0.8930333 0.8991050 0.9152783 1.0000000 0.9096506 0.9590512 0.9863906
2011 0.9347864 0.9673884 0.9832621 0.9939553 0.9096506 1.0000000 0.9656066 0.9598935
2014 0.9031908 0.9415356 0.9629156 0.9761103 0.9590512 0.9656066 1.0000000 0.9870877
2018 0.9239911 0.9406082 0.9541767 0.9674221 0.9863906 0.9598935 0.9870877 1.0000000
```

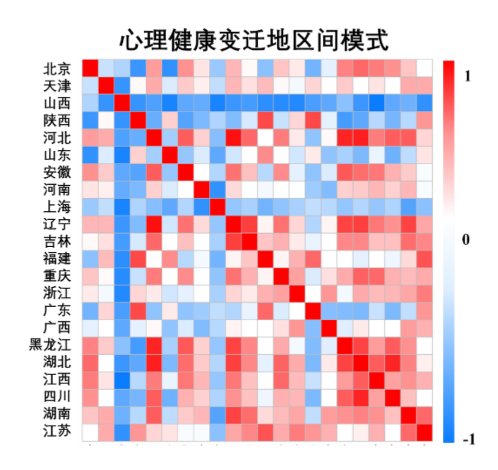
（3） 将 22 个省(自治区、直辖市)的相关性矩阵转化成 22 个向量。

```
> mentalchange
           北京      天津      山西      陕西      河北      山东      安徽      河南      上海      辽宁      吉林      福建
 [1,] 0.9857683 0.9749362 0.9632011 0.8933505 0.9718407 0.9780137 0.9943224 0.9921263 0.9982467 0.9771267 0.9834856 0.9395584
 [2,] 0.9798918 0.9591425 0.7961886 0.8175274 0.9657360 0.9654662 0.9795796 0.9790454 0.9640009 0.9754575 0.9602568 0.8953283
 [3,] 0.9903589 0.9438530 0.9705212 0.8045012 0.9784443 0.9540334 0.9892722 0.9648474 0.9730323 0.9686726 0.9645267 0.8767704
 [4,] 0.9555912 0.8940997 0.9829998 0.8556472 0.9355348 0.9738099 0.9431784 0.9566196 0.9439596 0.9633445 0.9731462 0.9018313
 [5,] 0.9920155 0.9347864 0.9597648 0.7471724 0.9562257 0.9614824 0.9668476 0.9948508 0.9309658 0.9577473 0.9598805 0.8671166
 [6,] 0.9806532 0.9031908 0.9830227 0.7657736 0.9466810 0.9781607 0.9345517 0.9783818 0.9144105 0.9573350 0.9660638 0.9108226
 [7,] 0.9908066 0.9239911 0.9801172 0.7908036 0.9741523 0.9699952 0.9811612 0.9843182 0.8570852 0.9614322 0.9331457 0.8895881
 [8,] 0.9818965 0.9923114 0.6821160 0.9640447 0.9969624 0.9928300 0.9819203 0.9857671 0.9652943 0.9964585 0.9876822 0.9929528
 [9,] 0.9947398 0.9747880 0.9910139 0.9797543 0.9977394 0.9680957 0.9834189 0.9680292 0.9609992 0.9989215 0.9917252 0.9752976
[10,] 0.9822527 0.8930333 0.9625181 0.9648463 0.8562035 0.9910229 0.9456392 0.9644121 0.9272769 0.9227372 0.9697545 0.9622975
[11,] 0.9765582 0.9673884 0.9972919 0.8944315 0.9948490 0.9811579 0.9606973 0.9945992 0.9352038 0.9925977 0.9889856 0.9822986
[12,] 0.9685308 0.9415356 0.9756434 0.8889562 0.9867365 0.9808350 0.9244109 0.9856226 0.9201722 0.9897823 0.9920400 0.9827051
[13,] 0.9779953 0.9406082 0.9770932 0.9072786 0.9946148 0.9970479 0.9911112 0.9918373 0.8318121 0.9901833 0.9694321 0.9865202
[14,] 0.9881579 0.9932073 0.7507610 0.9834124 0.9949027 0.9786745 0.9928330 0.9864109 0.9642508 0.9960603 0.9949250 0.9851031
[15,] 0.9653164 0.8991050 0.7934417 0.9862490 0.8515500 0.9913310 0.8847530 0.9814671 0.9476692 0.9290812 0.9356023 0.9476363
[16,] 0.9580280 0.9832621 0.6590300 0.9766773 0.9933338 0.9933488 0.9726010 0.9811030 0.9864975 0.9803645 0.9944351 0.9955928
[17,] 0.9452994 0.9629156 0.8151707 0.9750143 0.9866940 0.9874414 0.9357908 0.9717313 0.9720269 0.9908217 0.9986736 0.9854159
[18,] 0.9809960 0.9541767 0.7850688 0.9789979 0.9976455 0.9882615 0.9876485 0.9770201 0.8837830 0.9812463 0.9786152 0.9916117
[19,] 0.9806848 0.9152783 0.9780098 0.9679643 0.8829249 0.9565778 0.9136461 0.9657025 0.9929166 0.9084637 0.9347917 0.9304989
[20,] 0.9804157 0.9939553 0.9849338 0.9426139 0.9958039 0.9935437 0.9889980 0.9777075 0.9235460 0.9919886 0.9974923 0.9719050
[21,] 0.9730202 0.9761103 0.9881303 0.9258565 0.9851969 0.9921460 0.9615204 0.9694649 0.8972329 0.9889713 0.9953640 0.9699394
[22,] 0.9908055 0.9674221 0.9917863 0.9374521 0.9963765 0.9630143 0.9829798 0.9697757 0.9438387 0.9908657 0.9904789 0.9703228
[23,] 0.9342512 0.9096506 0.9660991 0.9603548 0.8482936 0.9797149 0.9161339 0.9554968 0.9129091 0.8950572 0.9339895 0.9423778
[24,] 0.9200082 0.9590512 0.9879932 0.9579936 0.8295130 0.9796960 0.9096619 0.9709532 0.8797647 0.9067087 0.9468821 0.9302647
[25,] 0.9460303 0.9863906 0.9958917 0.9790436 0.8829658 0.9830211 0.9319370 0.9725242 0.9729733 0.9120695 0.8990729 0.9667757
[26,] 0.9962636 0.9656066 0.9709384 0.9930221 0.9907873 0.9961907 0.9896530 0.9879484 0.9889484 0.9830427 0.9968563 0.9821620
[27,] 0.9886190 0.9598935 0.9765380 0.9926349 0.9914751 0.9763165 0.9655606 0.9915410 0.8579110 0.9896710 0.9891541 0.9935833
[28,] 0.9857742 0.9870877 0.9917375 0.9927661 0.9813149 0.9744238 0.9311815 0.9990368 0.8314598 0.9660115 0.9786395 0.9871931
           重庆      浙江      广东      广西    黑龙江      湖北      江西      四川      湖南      江苏
 [1,] 0.9869250 0.9788001 0.9236805 0.9787014 0.9907188 0.9810155 0.9948375 0.9941733 0.9840938 0.9777041
 [2,] 0.9809575 0.9726384 0.9419552 0.9540361 0.9521421 0.9570158 0.9681636 0.9786121 0.9705335 0.9743446
```

（6） 计算 22 个向量间的 Pearson 相关系数，作为每对省份(自治区)之间心理健康水平的相似度。

	北京	天津	山西	陕西	河北	山东	安徽	河南	上海	辽宁
北京	1.00000000	0.1311550	0.06793664	-0.22459126	0.60388509	-0.250802981	0.635823696	0.43344806	0.020855989	0.5466067
天津	0.13115497	1.0000000	-0.24170988	0.36962318	0.56926120	0.185719271	0.496275850	0.40174610	0.122899344	0.5433411
山西	0.06793664	-0.2417099	1.00000000	-0.24466225	-0.17251741	-0.315164846	-0.139543270	-0.12345650	-0.325169534	-0.2285397
陕西	-0.22459126	0.3696232	-0.24466225	1.00000000	-0.11429633	0.477101349	-0.169004325	-0.06789763	0.061630756	-0.0444310
河北	0.60388509	0.5692612	-0.17251741	-0.11429633	1.00000000	0.041836411	0.761948952	0.48150400	-0.030952191	0.9517546
山东	-0.25080298	0.1857193	-0.31516485	0.47710135	0.04183641	1.000000000	0.001518095	0.18393236	-0.134989303	0.1598720
安徽	0.63582370	0.4962759	-0.13954327	-0.16900432	0.76194895	0.001518095	1.000000000	0.28746383	0.084983239	0.7109230
河南	0.43344806	0.4017461	-0.12345650	-0.06789763	0.48150400	0.183932364	0.287463826	1.00000000	-0.257746041	0.4541853
上海	0.02085599	0.1228993	-0.32516953	0.06163076	-0.03095219	-0.134989303	0.084983239	-0.25774604	1.000000000	-0.0037955
辽宁	0.54660675	0.5433412	-0.22853980	-0.04443109	0.95175466	0.159872036	0.710923051	0.45418539	-0.003795534	1.0000000
吉林	0.37768974	0.4452815	-0.19955841	0.16683238	0.74205846	0.271132122	0.515344545	0.27515002	0.056705401	0.8374252
福建	-0.02462497	0.5278689	-0.26493838	0.80924946	0.32271103	0.648911256	0.094822118	0.24970195	-0.090417987	0.3899441
重庆	0.50723500	0.3720839	-0.27718225	0.12911659	0.68495611	0.362053493	0.643399186	0.36376688	-0.016076964	0.7139818
浙江	0.41187767	0.2446916	-0.29905890	0.46777069	0.41351583	0.162096300	0.212537476	0.34857513	0.051503779	0.4598962
广东	-0.09144048	0.4662669	-0.18894934	0.81931628	-0.01155562	0.414517855	-0.005185778	0.02938658	0.123337876	0.0749091
广西	0.20691021	0.2729871	-0.14349253	0.21213638	0.37663442	-0.010578683	0.179208436	-0.04734073	0.096448353	0.3948227
黑龙江	0.67183656	0.4873842	-0.01778605	-0.20073083	0.90390726	0.049440200	0.771019084	0.47977940	0.001317556	0.8243398
湖北	0.73984386	0.3685510	-0.23231130	-0.14013697	0.91112994	-0.059677986	0.726423038	0.48608519	0.080513742	0.8452997
江西	0.68433167	0.4328529	-0.36458387	0.09543436	0.68396169	0.216820691	0.698729496	0.53857147	-0.001146808	0.6931657
四川	0.62697283	0.2848009	-0.13793038	-0.07361295	0.76441162	-0.100348707	0.562293872	0.48334544	0.070351294	0.6355714
湖南	0.49962464	0.5663479	-0.10608060	0.09829679	0.76054164	0.111282082	0.496746058	0.54118528	-0.158609876	0.8228215

（7） 对上述 RSA 矩阵进行画图。



*** 上述模型构建所用数据为 mentalhealth_cross_region.xlsx 文件，代码可见 model_construction_mentalhealth_cross_region.R 文件，数据文件及代码可从 https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA 获取。**

1.5 跨地区的多变量表征相似性矩阵(国家尺度，意间-时间-空间维度)

(1) 使用 mentalhealth_cross_region_1998.xlsx 数据构建 1998 年 22 个省(自治区、直辖市)老年人的心理健康各维度的 RSA 矩阵：

```
> mentalhealth
```

	北京	天津	山西	陕西	河北	山东	安徽	河南	上海	辽宁
1	0.1752874	0.2093023	0.2250000	0.208	0.1681818	0.2041284	0.2907407	0.2122186	0.2267442	0.242584
2	0.2758621	0.2151163	0.2375000	0.196	0.1909091	0.2025994	0.2567901	0.2073955	0.1991279	0.180084
3	0.2385057	0.3313953	0.2416667	0.450	0.2909091	0.3264526	0.3018519	0.3054662	0.3422965	0.245762
4	0.3160920	0.2965116	0.4166667	0.500	0.3954545	0.3646789	0.3839506	0.3416399	0.3713663	0.424788
5	0.7902299	0.7383721	0.7166667	0.636	0.7818182	0.6788991	0.6376543	0.6535370	0.6606105	0.605932
6	0.7729885	0.6133721	0.5958333	0.596	0.7136364	0.6735474	0.5901235	0.6712219	0.6504360	0.622881
7	0.6264368	0.4738372	0.4916667	0.444	0.5181818	0.5045872	0.4666667	0.4726688	0.5392442	0.447033

	吉林	福建	重庆	浙江	广东	广西	黑龙江	湖北	江西	四川
1	0.2658730	0.3152542	0.294	0.2823529	0.3011364	0.3229167	0.1646825	0.2560976	0.2462406	0.244407

(2)在 22 个省(自治区、直辖市)下构建老年人的心理健康各维度的 RSA 矩阵：在每个年份下计算 22 个省(自治区、直辖市)7 个心理健康项目之间的绝对差值，随后对绝对差值进行归一化处理使其转化为取值范围在[0,1]区间的相似度得分。

```
> a1
           1         2         3         4         5          6         7
1 1.00000000 0.8364486 0.8971963 0.7710280 0.0000000 0.02803738 0.2663551
2 0.83644860 1.0000000 0.9392523 0.9345794 0.1635514 0.19158879 0.4299065
3 0.89719626 0.9392523 1.0000000 0.8738318 0.1028037 0.13084112 0.3691589
4 0.77102804 0.9345794 0.8738318 1.0000000 0.2289720 0.25700935 0.4953271
5 0.00000000 0.1635514 0.1028037 0.2289720 1.0000000 0.97196262 0.7336449
6 0.02803738 0.1915888 0.1308411 0.2570093 0.9719626 1.00000000 0.7616822
7 0.26635514 0.4299065 0.3691589 0.4953271 0.7336449 0.76168224 1.0000000
> a2
          1          2         3         4          5         6         7
1 1.0000000 0.98901099 0.7692308 0.8351648 0.00000000 0.2362637 0.5000000
2 0.9890110 1.00000000 0.7802198 0.8461538 0.01098901 0.2472527 0.5109890
3 0.7692308 0.78021978 1.0000000 0.9340659 0.23076923 0.4670330 0.7307692
4 0.8351648 0.84615385 0.9340659 1.0000000 0.16483516 0.4010989 0.6648352
5 0.0000000 0.01098901 0.2307692 0.1648352 1.00000000 0.7637363 0.5000000
6 0.2362637 0.24725275 0.4670330 0.4010989 0.76373626 1.0000000 0.7362637
7 0.5000000 0.51098901 0.7307692 0.6648352 0.50000000 0.7362637 1.0000000
> a3
          1          2          3         4          5         6         7
1 1.0000000 0.97457627 0.96610169 0.6101695 0.00000000 0.2457627 0.4576271
2 0.9745763 1.00000000 0.99152542 0.6355932 0.02542373 0.2711864 0.4830508
3 0.9661017 0.99152542 1.00000000 0.6440678 0.03389831 0.2796610 0.4915254
4 0.6101695 0.63559322 0.64406780 1.0000000 0.38983051 0.6355932 0.8474576
5 0.0000000 0.02542373 0.03389831 0.3898305 1.00000000 0.7542373 0.5423729
6 0.2457627 0.27118644 0.27966102 0.6355932 0.75423729 1.0000000 0.7881356
```

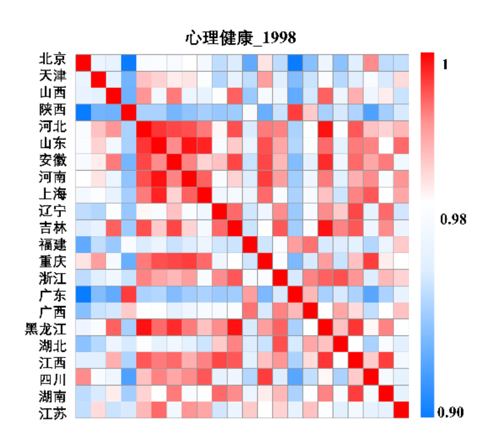
(3)构建跨地区的老年人心理健康的 RSA 矩阵：将 1998 年 22 个省(自治区、直辖市)上的心理健康各维度 RSA 矩阵转化为 22 个心理健康水平向量

```
> mentalhealth_total
            [,1]       [,2]       [,3]       [,4]       [,5]        [,6]      [,7]       [,8]       [,9]      [,10]      [,11]      [,12]
 [1,] 0.83644860 0.98901099 0.97457627 0.97272727 0.96296296 0.996789727 0.9108590 0.98960139 0.94015748 0.85885167 0.97524752 0.77340824
 [2,] 0.89719626 0.76923077 0.96610169 0.45000000 0.80000000 0.743178170 0.9708266 0.79896014 0.74960630 0.99282297 0.92079208 0.68726592
 [3,] 0.77102804 0.83516484 0.61016949 0.33636364 0.62962963 0.662921348 0.7552674 0.72097054 0.68661417 0.58851675 0.59405941 0.67415730
 [4,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.02727273 0.00000000 0.003210273 0.0891410 0.04852686 0.05984252 0.17942584 0.02475248 0.22659176
 [5,] 0.02803738 0.23626374 0.24576271 0.11818182 0.11111111 0.014446228 0.2139384 0.01039861 0.08188976 0.14114833 0.13861386 0.25280899
 [6,] 0.26635514 0.50000000 0.45762712 0.46363636 0.42962963 0.369181380 0.5380875 0.43847487 0.32283465 0.53827751 0.52970297 0.59925094
 [7,] 0.93925234 0.78021978 0.99152542 0.42272727 0.83703704 0.739967897 0.8816856 0.78856153 0.68976378 0.85167464 0.89603960 0.46067416
 [8,] 0.93457944 0.84615385 0.63559322 0.30909091 0.66666667 0.659711075 0.6661264 0.71057192 0.62677165 0.44736842 0.56930693 0.44756554
 [9,] 0.16355140 0.01098901 0.02542373 0.00000000 0.03703704 0.000000000 0.0000000 0.03812825 0.00000000 0.03827751 0.00000000 0.00000000
[10,] 0.19158879 0.24725275 0.27118644 0.09090909 0.14814815 0.011235955 0.1247974 0.00000000 0.02204724 0.00000000 0.11386139 0.02621723
[11,] 0.42990654 0.51098901 0.48305085 0.43636364 0.46666667 0.365971108 0.4489465 0.42807626 0.26299213 0.39712919 0.50495050 0.37265918
[12,] 0.87383178 0.93406593 0.64406780 0.88636364 0.82962963 0.919743178 0.7844408 0.92201040 0.93700787 0.59569378 0.67326733 0.98689139
[13,] 0.10280374 0.23076923 0.03389831 0.57727273 0.20000000 0.260032103 0.1183144 0.24956672 0.31023622 0.18660287 0.10396040 0.53932584
[14,] 0.13084112 0.46703297 0.27966102 0.66818182 0.31111111 0.271268058 0.2431118 0.21143847 0.33228346 0.14832536 0.21782178 0.56554307
[15,] 0.36915888 0.73076923 0.49152542 0.98636364 0.62962963 0.626003210 0.5672609 0.63951473 0.57322835 0.54545455 0.60891089 0.91198502
[16,] 0.22897196 0.16483516 0.38983051 0.69090909 0.37037037 0.340288925 0.3338736 0.32755633 0.37322835 0.59090909 0.43069307 0.55243446
[17,] 0.25700935 0.40109890 0.63559322 0.78181818 0.48148148 0.351524880 0.4586710 0.28942808 0.39527559 0.55263158 0.54455446 0.57865169
[18,] 0.49532710 0.66483516 0.84745763 0.87272727 0.80000000 0.706260032 0.7828201 0.71750433 0.63622047 0.94976077 0.93564356 0.92509363
[19,] 0.97196262 0.76373626 0.75423729 0.90909091 0.88888889 0.988764045 0.8752026 0.96187175 0.97795276 0.96172249 0.88613861 0.97378277
[20,] 0.73364486 0.50000000 0.54237288 0.56363636 0.57037037 0.634028892 0.5510535 0.61005199 0.73700787 0.64114833 0.49504950 0.62734082
[21,] 0.76168224 0.73626374 0.78813559 0.65454545 0.68148148 0.645264848 0.6758509 0.57192374 0.75905512 0.60287081 0.60891089 0.65355805
           [,13]      [,14]      [,15]      [,16]      [,17]      [,18]      [,19]      [,20]     [,21]      [,22]
 [1,] 0.89910314 0.92647059 0.88054968 0.90320233 0.98780488 0.96888889 0.90873016 0.93635251 0.7799043 0.98022250
 [2,] 0.90582960 0.82037815 0.50951374 0.68995633 0.86991870 0.82000000 0.88888889 0.90085679 0.9784689 0.61804697
```

(4)计算 22 个向量间的 Pearson 相关系数，作为 1998 年每对省份(自治区)之间心理健康水平的相似度。

```
           [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,6]      [,7]      [,8]      [,9]     [,10]     [,11]     [,12]     [,13]
 [1,] 1.0000000 0.8700588 0.8414165 0.3812321 0.8939190 0.9012439 0.8987938 0.9113590 0.8946044 0.7661176 0.8181732 0.5587219 0.9378104
 [2,] 0.8700588 1.0000000 0.8542115 0.5887142 0.9328273 0.9193669 0.9188970 0.9217096 0.8896821 0.7268148 0.8565567 0.7302271 0.9415924
 [3,] 0.8414165 0.8542115 1.0000000 0.5470699 0.9389328 0.8589414 0.9527000 0.8537503 0.8294818 0.8973886 0.9617865 0.6261721 0.8708430
 [4,] 0.3812321 0.5887142 0.5470699 1.0000000 0.6996984 0.7158566 0.5698123 0.6527460 0.7089628 0.6375862 0.6584675 0.8916770 0.5565509
 [5,] 0.8939190 0.9328273 0.9389328 0.6996984 1.0000000 0.9779580 0.9721568 0.9712972 0.9467418 0.9046055 0.9682310 0.7979769 0.9532078
 [6,] 0.9012439 0.9193669 0.8589414 0.7158566 0.9779580 1.0000000 0.9403280 0.9911735 0.9839243 0.8736551 0.9145704 0.8388053 0.9666864
 [7,] 0.8987938 0.9188970 0.9527000 0.5698123 0.9721568 0.9403280 1.0000000 0.9511583 0.9110402 0.9239898 0.9700235 0.7453443 0.9698143
 [8,] 0.9113590 0.9217096 0.8537503 0.6527460 0.9712972 0.9911735 0.9511583 1.0000000 0.9602839 0.8760114 0.9193319 0.8071410 0.9756682
 [9,] 0.8946044 0.8896821 0.8294818 0.7089628 0.9467418 0.9839243 0.9110402 0.9602839 1.0000000 0.8478779 0.8650188 0.8417804 0.9559229
[10,] 0.7661176 0.7268148 0.8973886 0.6375862 0.9046055 0.8736551 0.9239898 0.8760114 0.8478779 1.0000000 0.9586011 0.7656925 0.8538301
[11,] 0.8181732 0.8565567 0.9617865 0.6584675 0.9682310 0.9145704 0.9700235 0.9193319 0.8650188 0.9586011 1.0000000 0.7552150 0.8981537
[12,] 0.5587219 0.7302271 0.6261721 0.8916770 0.7979769 0.8388053 0.7453443 0.8071410 0.8417804 0.7656925 0.7552150 1.0000000 0.7675600
[13,] 0.9378104 0.9415924 0.8708430 0.5565509 0.9532078 0.9666864 0.9698143 0.9756682 0.9559229 0.8538301 0.8981537 0.7675600 1.0000000
[14,] 0.7552662 0.8311558 0.8562111 0.7656845 0.9461654 0.9310938 0.9245307 0.9360136 0.8773778 0.9403697 0.9617751 0.8730232 0.8838095
[15,] 0.4145360 0.6299146 0.5358282 0.9753939 0.7186991 0.7520592 0.6148201 0.7052818 0.7400659 0.6651489 0.6770149 0.9514071 0.6209528
[16,] 0.6218516 0.7604424 0.7744237 0.9202987 0.8858647 0.8826266 0.8198747 0.8494352 0.8621848 0.8698851 0.8778196 0.9520086 0.7869189
[17,] 0.8622159 0.8986020 0.9605745 0.6837246 0.9908346 0.9541045 0.9806026 0.9516359 0.9174216 0.9440815 0.9920473 0.7838080 0.9348285
[18,] 0.6751627 0.7738081 0.8681136 0.7887908 0.9109727 0.8645726 0.8827986 0.8617964 0.8021947 0.9226967 0.9553671 0.8103410 0.8018251
[19,] 0.8456968 0.8289875 0.9293057 0.7013361 0.9619664 0.9457470 0.9553032 0.9291742 0.9406942 0.9701442 0.9621800 0.8137021 0.9199264
[20,] 0.9632143 0.8854298 0.8578114 0.5112408 0.9237694 0.9486261 0.9323202 0.9433780 0.9650784 0.8345394 0.8530747 0.6979743 0.9742900
[21,] 0.7716454 0.8102823 0.9058757 0.6648220 0.9163885 0.8878346 0.9486699 0.8779685 0.8869284 0.9576745 0.9409824 0.8363233 0.9002564
[22,] 0.7704736 0.9114111 0.7670742 0.8277732 0.9319951 0.9587829 0.8651000 0.9430006 0.9310219 0.7895976 0.8582574 0.9151187 0.8968719
          [,14]     [,15]     [,16]     [,17]     [,18]     [,19]     [,20]     [,21]     [,22]
 [1,] 0.7552662 0.4145360 0.6218516 0.8622159 0.6751627 0.8456968 0.9632143 0.7716454 0.7704736
 [2,] 0.8311558 0.6299146 0.7604424 0.8986020 0.7738081 0.8289875 0.8854298 0.8102823 0.9114111
```

(5)对上述 RSA 矩阵进行画图。



***上述模型构建所用数据为 mentalhealth_cross_region_1998.xlsx 文件，代码可见 model construction_mentalhealth_cross_region_1998.R 文件，数据文件及代码可从 https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA 获取。**

1.6 概念模型的表征相似性矩阵

使用 concept_model.xlsx 数据构建概念模型，分别构建中国“五年规划”概念模型、水稻种植面积分布模型、文化松紧度概念模型。

（1） 构建中国“五年规划”概念模型：

依据中国“五年规划”颁布时间建立“五年规划”概念矩阵。依据各年份对应的五年规划次序对年份进行赋值，即将 1998 和 2000 年赋值为 1(“九五”规划)、2002 和 2005 年赋值为 2(“十五”规划)、2008 年赋值为 3(“十一五”规划)、2011 和 2014 年赋值为 4(“十二五”规划)、2018 年赋值为 5(“十三五”规划)，随后基于赋值数据构建中国“五年规划”跨时间的概念矩阵。

```
> data_plan
 1998 2000 2002 2005 2008 2011 2014 2018
    1    1    1    2    2    3    4    4    5
```

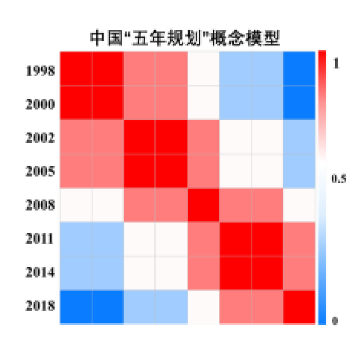
导入数据后，需要构建“五年规划”变迁的 RDM 矩阵，即计算每两个年份的“五年规划”实施情况之间的绝对差值。

```
> aplan1
     1998 2000 2002 2005 2008 2011 2014 2018
1998    0    0    1    1    2    3    3    4
2000    0    0    1    1    2    3    3    4
2002    1    1    0    0    1    2    2    3
2005    1    1    0    0    1    2    2    3
2008    2    2    1    1    0    1    1    2
2011    3    3    2    2    1    0    0    1
2014    3    3    2    2    1    0    0    1
2018    4    4    3    3    2    1    1    0
```

对数据进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

```
> aplan1
     1998 2000 2002 2005 2008 2011 2014 2018
1998 1.00 1.00 0.75 0.75 0.50 0.25 0.25 0.00
2000 1.00 1.00 0.75 0.75 0.50 0.25 0.25 0.00
2002 0.75 0.75 1.00 1.00 0.75 0.50 0.50 0.25
2005 0.75 0.75 1.00 1.00 0.75 0.50 0.50 0.25
2008 0.50 0.50 0.75 0.75 1.00 0.75 0.75 0.50
2011 0.25 0.25 0.50 0.50 0.75 1.00 1.00 0.75
2014 0.25 0.25 0.50 0.50 0.75 1.00 1.00 0.75
2018 0.00 0.00 0.25 0.25 0.50 0.75 0.75 1.00
```

对上述 RSA 矩阵进行画图。



（2） 构建水稻种植面积分布模型：

使用各省份水稻种植面积数据构建水稻种植面积分布的表征相似性矩阵。

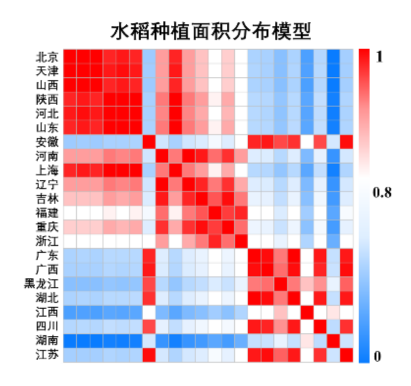
导入数据后，构建水稻种植面积分布的 RDM 矩阵，即对所有省(自治区、直辖市)中水稻种植面积进行成对比较，计算每两个省(自治区、直辖市)的水稻种植面积之间的绝对差值。

	北京	天津	山西	陕西	河北	山东	安徽	
北京	0.00000	22.19125	2.36125	123.89750	96.97000	132.84375	2262.91500	54
天津	22.19125	0.00000	24.55250	101.70625	74.77875	110.65250	2240.72375	52
山西	2.36125	24.55250	0.00000	126.25875	99.33125	135.20500	2265.27625	54
陕西	123.89750	101.70625	126.25875	0.00000	26.92750	8.94625	2139.01750	41
河北	96.97000	74.77875	99.33125	26.92750	0.00000	35.87375	2165.94500	44
山东	132.84375	110.65250	135.20500	8.94625	35.87375	0.00000	2130.07125	41
安徽	2262.91500	2240.72375	2265.27625	2139.01750	2165.94500	2130.07125	0.00000	171
河南	543.29625	521.10500	545.65750	419.39875	446.32625	410.45250	1719.61875	
上海	129.22500	107.03375	131.58625	5.32750	32.25500	3.61875	2133.69000	41
辽宁	536.92250	514.73125	539.28375	413.02500	439.95250	404.07875	1725.99250	
吉林	660.49875	638.30750	662.86000	536.60125	563.52875	527.65500	1602.41625	11
福建	938.01000	915.81875	940.37125	814.11250	841.04000	805.16625	1324.90500	39
重庆	707.20000	685.00875	709.56125	583.30250	610.23000	574.35625	1555.71500	16
浙江	1091.45125	1069.26000	1093.81250	967.55375	994.48125	958.60750	1171.46375	54
广东	2111.20000	2089.00875	2113.56125	1987.30250	2014.23000	1978.35625	151.71500	156
广西	2156.08500	2133.89375	2158.44625	2032.18750	2059.11500	2023.24125	106.83000	161
黑龙江	2520.69500	2498.50375	2523.05625	2396.79750	2423.72500	2387.85125	257.78000	197
湖北	2104.37250	2082.18125	2106.73375	1980.47500	2007.40250	1971.52875	158.54250	156
江西	3165.22750	3143.03625	3167.58875	3041.33000	3068.25750	3032.38375	902.31250	262
四川	2017.01125	1994.82000	2019.37250	1893.11375	1920.04125	1884.16750	245.90375	147
湖南	3947.81250	3925.62125	3950.17375	3823.91500	3850.84250	3814.96875	1684.89750	340

对数据进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

	北京	天津	山西	陕西	河北	山东	安徽	
北京	1.0000000000	0.994382209	0.9994022	0.96863492	0.97545171	0.96637015	0.4271353	0.8
天津	0.9943822091	1.000000000	0.9937845	0.97425271	0.98106950	0.97198794	0.4327531	0.8
山西	0.9994022415	0.993784451	1.0000000	0.96803717	0.97485395	0.96577239	0.4265376	0.8
陕西	0.9686349240	0.974252715	0.9680372	1.00000000	0.99318321	0.99773523	0.4585004	0.8
河北	0.9754517127	0.981069504	0.9748540	0.99318321	1.00000000	0.99091844	0.4516836	0.8
山东	0.9663701502	0.971987941	0.9657724	0.99773523	0.99091844	1.00000000	0.4607652	0.8
安徽	0.4271353254	0.432753116	0.4265376	0.45850040	0.45168361	0.46076518	1.0000000	0.5
河南	0.8624626955	0.868080486	0.8618649	0.89382777	0.88701098	0.89609255	0.5646726	1.0
上海	0.9672862491	0.972904040	0.9666885	0.99865133	0.99183454	0.99908390	0.4598491	0.8
辽宁	0.8640762321	0.869694023	0.8634785	0.89544131	0.88862452	0.89770608	0.5630591	0.9
吉林	0.8327924816	0.838410272	0.8321947	0.86415756	0.85734077	0.86642233	0.5943428	0.9
福建	0.7625395592	0.768157350	0.7619418	0.79390464	0.78708785	0.79616941	0.6645958	0.9
重庆	0.8209699004	0.826587691	0.8203721	0.85233498	0.84551819	0.85459975	0.6061654	0.9
浙江	0.7236953818	0.729313173	0.7230976	0.75506046	0.74824367	0.75732523	0.7034399	0.8
广东	0.4655424967	0.471160288	0.4649447	0.49690757	0.49009078	0.49917235	0.9615928	0.6
广西	0.4541797054	0.459797496	0.4535819	0.48554478	0.47872799	0.48780956	0.9729556	0.5
黑龙江	0.3618774364	0.367495227	0.3612797	0.39324251	0.38642572	0.39550729	0.9347421	0.4
湖北	0.4672709017	0.472888693	0.4666731	0.49863598	0.49181919	0.50090075	0.9598644	0.6
江西	0.1987118288	0.204329620	0.1981141	0.23007690	0.22326012	0.23234168	0.7715765	0.3
四川	0.4893867010	0.495004492	0.4887889	0.52075178	0.51393499	0.52301655	0.9377486	0.6
湖南	0.0005977585	0.006215549	0.0000000	0.03196283	0.02514605	0.03422761	0.5734624	0.1

对上述 RSA 矩阵进行画图。



（3） 构建文化松紧度概念模型：

基于 Chua 等人(2019)测量的各省(自治区、直辖市)文化松紧度得分，将文化松紧度得分小于 3 分的省份定义为宽松文化省份，将文化松紧度得分大于 3 分的省份定义为紧致文化省份。

使用各省份文化松紧度类别构建文化松紧度分布的表征相似性矩阵。

导入数据后，构建文化松紧度分布的 RDM 矩阵，即对所有省(自治区、直辖市)中文化松紧度类别进行成对比较，计算每两个省(自治区、直辖市)的文化松紧度类别之间的绝对差值。

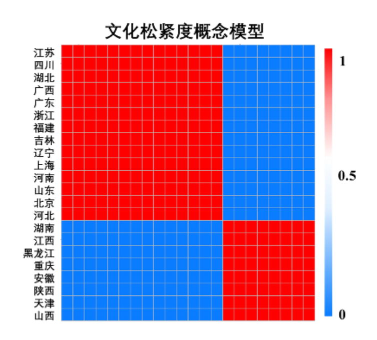
```
> adatatightnessa
```

	北京	天津	山西	陕西	河北	山东	安徽	河南	上海	辽宁	吉林	福建	重庆	浙江	广东	广西	黑龙江
北京	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
天津	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
山西	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
陕西	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
河北	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
山东	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
安徽	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
河南	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
上海	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
辽宁	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
吉林	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
福建	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
重庆	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1

对数据进行归一化处理，将绝对差值得分转换为[0,1]区间作相似度得分。

```
> adatatightnessa
     北京 天津 山西 陕西 河北 山东 安徽 河南 上海 辽宁 吉林 福建 重庆 浙江 广东 广西 黑龙江
北京    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
天津    0    1    1    1    0    0    1    0    0    0    0    0    1    0    0    0
山西    0    1    1    1    0    0    1    0    0    0    0    0    1    0    0    0
陕西    0    1    1    1    0    0    1    0    0    0    0    0    1    0    0    0
河北    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
山东    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
安徽    0    1    1    1    0    0    1    0    0    0    0    0    1    0    0    0
河南    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
上海    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
辽宁    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
吉林    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
福建    1    0    0    0    1    1    0    1    1    1    1    1    0    1    1    1
```

对上述 RSA 矩阵进行画图。



***** 上述模型构建所用数据为 **concept_model.xlsx** 文件，代码可见 **model_construction_mentalhealth_concept_model.R** 文件，数据文件及代码可从 **https://github.com/HangYuan-up/Social-Change-RSA** 获取。

S2. RSA 模型比较实例

2.1 模型比较：社会经济文化变迁与老年人孤独感变迁的表征相似性（国家尺度跨时间单变量表征相似性）

在构建单变量 RSA 矩阵后，可以对不同变量的表征相似性模式进行直接比较，以探索不同变量变迁模式的表征相似性。在本例中，使用 Mantel 检验对老年人孤独感变迁的 RSA 矩阵与社会经济文化变迁指标的 RSA 矩阵进行相关性分析。结果发现，1998 至 2018 年间，老年人孤独感变迁的表征相似性模式与人口自然增长率、总人口数以及广播节目综合人口覆盖率变迁的表征相似性模式呈现显著的相似性(r = 0.71, p = 0.006；r = 0.44, p = 0.037；r = 0.81, p < 0.001)，与其他社会经济文化变迁指标间不存在显著的表征相似性(r = -0.04 ~ 0.40, ps > 0.088)。(图 S1)

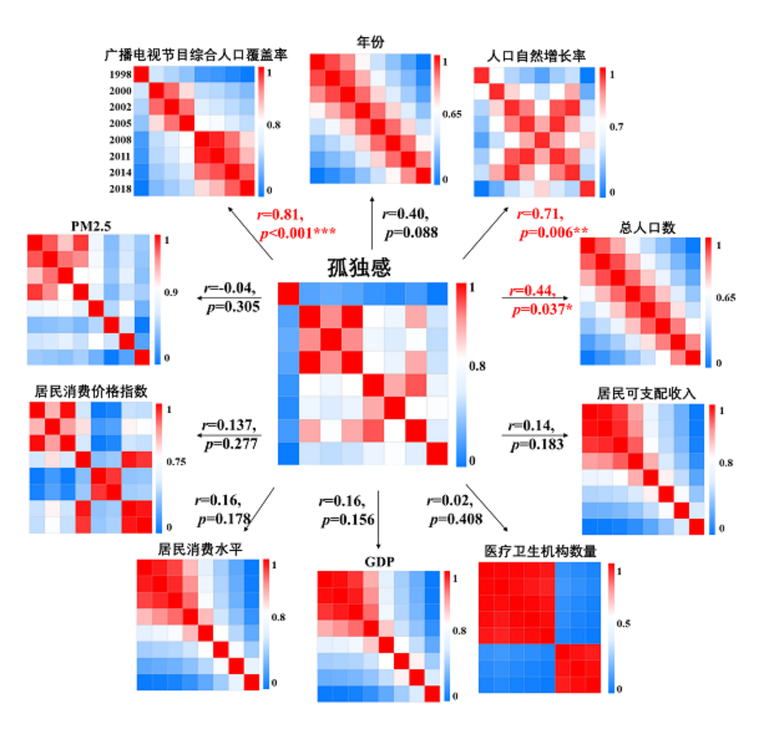


图 S1　老年人孤独感变迁与社会经济文化指标变迁的表征相似性(*p < .05, ** p < .01, *** p < .001)

2.2 模型比较：社会经济文化变迁与老年人心理健康、认知功能模式变迁的表征相似性（国家尺度跨时间多变量表征相似性）

对于二阶水平的多变量 RSA 矩阵，可以使用同样 Mantel 检验比较不同多变量 RSA 矩阵间的关系，还可以与单变量 RSA 矩阵进行比较，探索影响多变量表征相似性模式变化的因素。在本例中，我们分别构建了跨时间的老年人心理健康水平变迁的多维 RSA 矩阵与老年人认知功能变迁的多维 RSA 矩阵。使用 Mantel 检验进行分析发现，老年人的心理健康变迁模式与认知功能变迁模式存在显著的表征相似性(r = 0.75, p = 0.034)，该结果表明，老年

人认知功能与心理健康模式呈现出随时间共变的趋势(图 S2)。

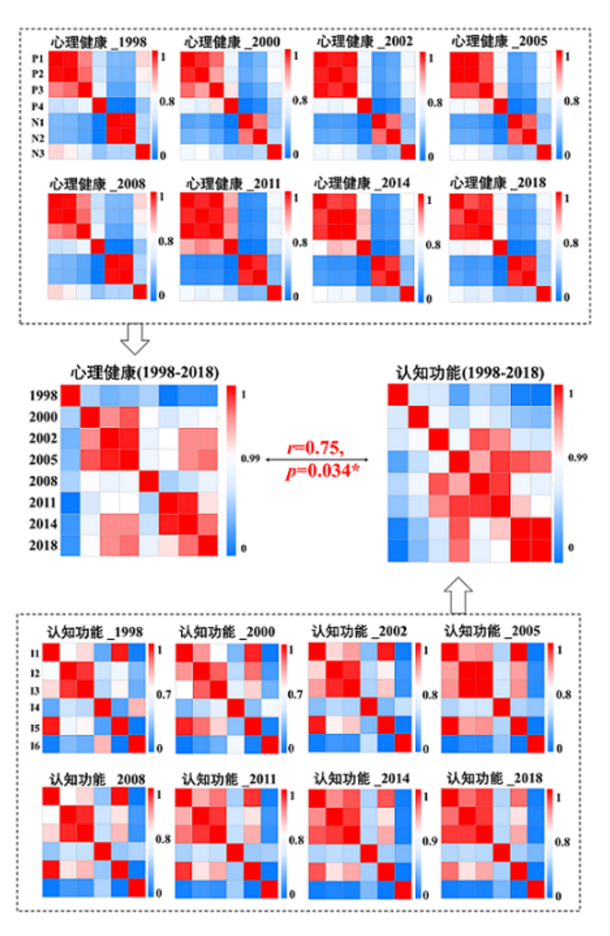


图 S2 老年人心理健康模式(总体水平)与认知功能模式(总体水平)变迁的表征相似性(*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$)

接着，还探索了社会经济文化变迁指标与老年人心理健康变迁模式及认知功能变迁模式是否具有相关性，使用 Mantel 检验进行分析发现(表 S1)，广播电视节目综合人口覆盖率的变迁模式与总体老年人心理健康状况变迁模式具有显著的相似性($r = 0.69$, $p = 0.033$)。而广播电视节目综合人口覆盖率、人口自然增长率、总人口数及年份的变迁模式与总体老年人认知功能变迁模式显著相关($r = 0.83$, $p = 0.002$; $r = 0.66$, $p = 0.006$; $r = 0.63$, $p = 0.004$； $r = 0.58$, $p = 0.008$)。

表 S1 社会经济文化变迁指标与老年人心理健康模式(总体水平)、认知功能模式(总体水平)变迁的表征相似性

		1			2		
			Mantel test	Pearson correlation		Mantel test	Pearson correlation
		r	p	p	r	p	p
1	心理健康变迁(总体)	1					
2	认知功能变迁(总体)	0.73	<0.001***	<0.001***	1		
3	GDP	-0.01	0.321	0.954	0.29	0.144	0.135
4	CPI	0.11	0.289	0.574	0.12	0.285	0.534
5	医疗卫生机构数量	0.07	0.385	0.741	0.12	0.179	0.665
6	广播电视节目综合人口覆盖率	0.69	0.033*	<0.001***	0.83	0.002**	<0.001***
7	居民可支配收入	-0.03	0.317	0.885	0.95	0.147	0.205
8	居民消费水平	0.01	0.300	0.976	0.31	0.144	0.103
9	人口自然增长率	0.54	0.090	0.003**	0.66	0.006**	<0.001***
10	总人口数	0.29	0.144	0.131	0.63	0.004**	<0.001***
11	PM2.5	-0.15	0.531	0.419	-0.15	0.592	0.454
12	年份	0.24	0.146	0.211	0.58	0.008**	0.001**

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

2.3 模型比较：老年人心理健康、认知功能模式变迁的表征相似性(国家尺度跨意间多变量表征相似性)

老年人心理健康与认知功能都是由多维度变量组成的高维变量。因此还可以分别构建心理健康与认知功能意见维度上不同变量变迁的 RSA 矩阵(图 S3)，并基于典型相关分析探索影响老年人心理健康变迁与认知功能变迁模式相似性的主要影响因素。

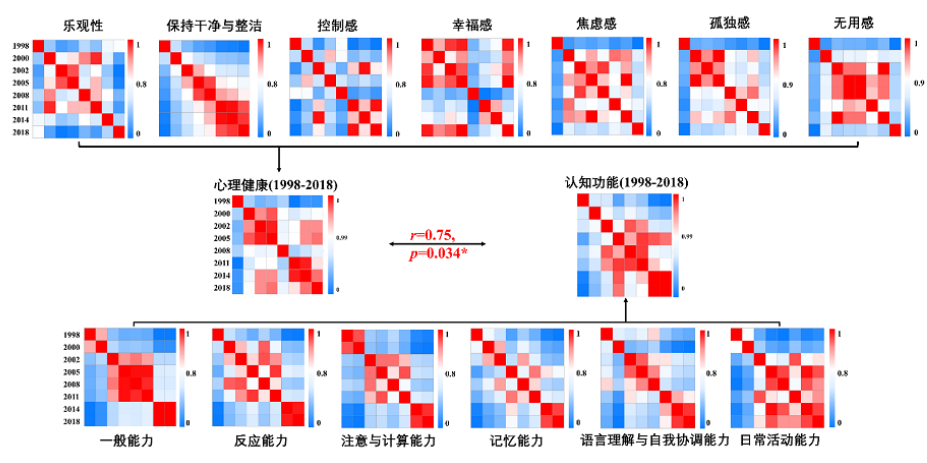


图 S3 老年人心理健康模式(总体水平)与认知功能模式(总体水平)变迁的表征相似性(*$p < .05$, **$p < .01$, ***$p < .001$)

结果如表 S2 所示，典型相关分析结果共提取出 6 对典型变量，经检验前 3 对典型相关系数具有统计学意义($ps < 0.05$)，依次为 0.972、0.930 和 0.768，说明第一、二、三对典型变量反映了两组变量主要的相关关系。由标准化典型系数可以得到 3 组典型变量组内线性组合：

第一组：

$V_1 = 0.043X_{乐观性} - 1.356X_{保持干净与整洁} + 0.015X_{控制感} + 0.053X_{幸福感} + 0.109X_{焦虑感} + 0.806X_{孤独感} - 0.408X_{无用感}$

$W_1 = -1.036Y_{一般能力} + 0.252Y_{反应能力} + 0.934Y_{注意与计算} - 0.420Y_{记忆能力} - 0.429Y_{言语理解与自我协调能力} - 0.379Y_{日常活动能力}$

第二组：

$V_2 = -0.128X_{乐观性} + 0.690X_{保持干净与整洁} + 0.012X_{控制感} - 0.044X_{幸福感} - 2.114X_{焦虑感} - 0.278X_{孤独感} + 1.108X_{无用感}$

$W_2 = 0.533Y_{一般能力} - 1.632Y_{反应能力} + 0.747Y_{注意与计算} + 0.708Y_{记忆能力} + 0.142Y_{言语理解与自我协调能力} - 0.812Y_{日常活动能力}$

第三组：

$V_3 = 0.550X_{乐观性} + 0.130X_{保持干净与整洁} + 0.939X_{控制感} - 0.051X_{幸福感} + 2.067X_{焦虑感} - 2.618X_{孤独感} - 0.202X_{无用感}$

$W_3 = -3.231Y_{一般能力} + 1.319Y_{反应能力} + 2.509Y_{注意与计算} - 0.943Y_{记忆能力} + 0.265Y_{言语理解与自我协调能力} + 0.713Y_{日常活动能力}$

由第一组线性组合可以得知：V_1 主要由 $X_{保持干净与整洁}$决定，W_1 主要由 $Y_{一般能力}$决定，说明保持干净与整洁变迁与一般能力变迁呈正相关。由第二组线性组合可以得知：V_2 主要由 $X_{焦虑感}$决定，W_2 主要由 $Y_{反应能力}$决定，说明焦虑感变迁与反应能力变迁呈正相关。由第三组线性组合可以得知：V_3 主要由 $X_{焦虑感}$决定，W_3 主要由 $Y_{一般能力}$决定，说明焦虑感变迁与一般能力变迁呈正相关。同时，心理健康变迁变量可被自身的典型变量解释的变异为 27.6%，可被相对的典型变量解释的变异为 26.1%。而认知功能变迁变量可被自身的典型变量解释的变异为 63.7%，可被相对的典型变量解释的变异为 60.2%。典型相关系数的平方为 0.94，说明两组变量的共享方差为 94%。再次说明心理健康变迁与认知功能变迁之间存在较高程度的相关。

表S2　老年人心理健康变迁与认知功能变迁两组变量的典型相关性分析

典型变量	典型相关系数	Wilk 值	***F***	***P***
1	0.972	0.001	5.273	<0.001***
2	0.930	0.027	3.208	<0.001***
3	0.768	0.204	1.764	0.049*
4	0.599	0.497	1.207	0.306
5	0.376	0.775	0.859	0.534
6	0.311	0.903	.	.

p< .05, ** *p* < .01, *** *p* < .001.

2.4 模型比较：老年人心理健康、认知功能模式变迁的表征相似性(地区尺度跨时间多变量表征相似性)

在地区尺度上，可以探索各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与老年人认知功能变迁模式的相关性。使用 Mantel 检验分别对 22 个省(自治区、直辖市)的老年人心理健康变迁 RSA 矩阵与认知功能变迁矩阵进行了相关性分析，结果发现，部分省份老年人心理健康变迁 RSA 矩阵与认知功能变迁矩阵存在显著的表征相似性(表 S3)。

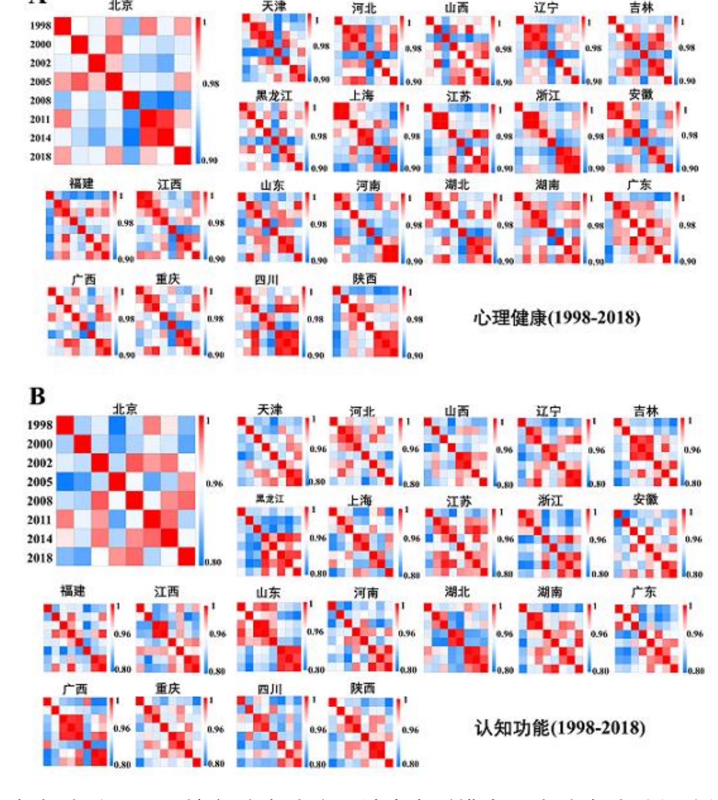


图 S4　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式(A)与老年人认知功能变迁模式(B)

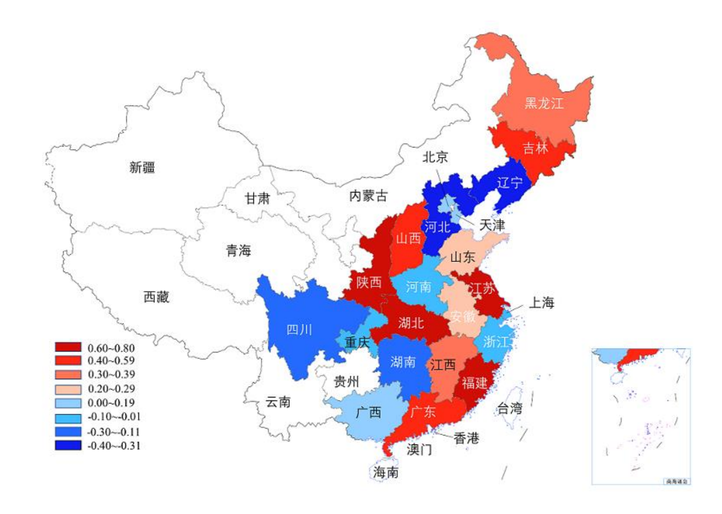


图 S5　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与老年人认知功能变迁模式的表征相似性值(r 值)

表 S3　22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与老年人认知功能变迁模式的表征相似性值(*r* 值)

		Pearson correlation	Mantel test
	r	*p*	*p*
陕西	0.76	<0.001***	0.006**
江苏	0.68	<0.001***	0.028*
湖北	0.64	<0.001***	0.075
福建	0.61	<0.001***	0.010*
山西	0.54	0.003**	0.002**
吉林	0.52	0.005**	0.010*
广东	0.43	0.022*	0.145
黑龙江	0.35	0.192	0.174
江西	0.31	0.109	0.099
山东	0.21	0.286	0.213
安徽	0.2	0.299	0.211
天津	0.16	0.404	0.180
广西	0.11	0.578	0.301
北京	0.08	0.672	0.275
上海	-0.04	0.864	0.473
浙江	-0.04	0.834	0.526
河南	-0.07	0.727	0.364
重庆	-0.10	0.603	0.439
湖南	-0.15	0.442	0.747
四川	-0.23	0.24	0.864
辽宁	-0.34	0.079	0.942

河北	-0.37	0.054	0.988

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

2.5 模型比较：社会经济文化水平对老年人心理健康与认知功能变迁间表征相似性的调节（地区尺度跨时间多变量表征相似性×调节效应分析）

基于上述分析中得到的22个省(自治区、直辖市)的老年人心理健康与认知功能变迁RSA矩阵的相关性分析结果，可以进一步探索不同地区的社会经济文化发展水平是否是调节老年人心理健康与认知功能表征相似性的潜在因素。

在本例中，纳入 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康和认知功能变迁模式的表征相似性值(r 值)，以及 22 个省(自治区、直辖市)的 GDP、广播电视节目综合人口覆盖率、PM2.5 水平(1998～2018 年均值)进行相关分析，如表 S4 所示，三种社会变迁指标与老年人心理健康和认知功能变迁模式的相似性均不存在显著的相关关系($ps > 0.156$)。该结果表明，在地区尺度上，没有发现社会经济文化平均水平影响老年人心理健康与认知功能变迁模式间相似性的证据。

表 S4　社会经济、文化、自然变迁指标与各省(自治区、直辖市)老年人心理健康模式与认知功能模式变迁的表征相似性值的相关性

		M	*SD*	1
1	表征相似性值(r 值)	0.19	0.34	
2	GDP(1998～2018 年均值)	14817.76	9197.24	0.12
3	广播电视节目综合人口覆盖率(1998～2018 年均值)	96.03	3.11	0.24
4	PM2.5(1998～2018 年均值)	52.62	14.20	-0.02

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

2.6 模型比较：社会经济文化变迁对老年人心理健康与认知功能变迁间表征相似性的调节（地区尺度跨时间多变量表征相似性×多层回归分析）

同时，基于上述分析中构建的表征相似性数据，还可以使用回归分析探索不同指标间表征相似性模式的关系。在本研究中，使用多层回归模型考察社会经济、文化及自然变迁指标是否能够调节各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与认知功能变迁模式间表征相似性。将各省(自治区、直辖市)老年人认知功能变迁模式为预测变量，建立包含“各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁、GDP、PM2.5、广播电视节目综合人口覆盖率”以及上述指标与老年人心理健康状况的交互项的全模型。随后进行逐步的“最佳路径”简化，在主效应之前移除交互作用，以确定最终生成的最简模型与全模型在方差解释上无显著差异，模型

拟合的固定效应如表 S5 所示。最终模型显示，各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁、GDP 变迁与广播电视节目综合人口覆盖率变迁对各省(自治区、直辖市)老年人认知功能变迁具有显著的预测作用(b = 0.25, t = 5.03, $p < 0.001$; b = -0.02, t = -2.96, p = 0.003; b = -0.005, t = -2.55, p = 0.011)。

表 S5　社会经济、文化、自然变迁指标对各省(自治区、直辖市)老年人心理健康模式与认知功能模式变迁的表征相似性的调节作用

预测变量	B	*SE*	*t*	*p*	95%CI	
					LL	*UL*
(截距)	0.71	0.05	15.07	<0.001***	1.86	2.23
心理健康变迁	0.25	0.05	5.03	<0.001***	1.16	1.41
GDP 变迁	-0.02	0.01	-2.96	0.003**	0.96	0.99
广播电视节目综合人口覆盖率变迁	-0.005	0.002	-2.55	0.011*	0.992	0.999

CI=confidence interval; LL=lower limit; UL=upper limit.

*p < .05, ** p < .01, *** p < .001.

2.7　模型比较：社会经济文化变迁对老年人心理健康变迁国家模式与地区模式间表征相似性的调节(跨尺度跨时间多变量表征相似性×多元线性回归分析)

为考察地区经济变迁模式是否是影响各省(自治区、直辖市)与总体老年人心理健康变迁模式间表征相似性的潜在因素，还使用多层线性模型进行探索。以中国老年人心理健康总体变迁模式为预测变量，建立包含“各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁、GDP、CPI、居民消费水平变迁模式”以及上述各省份社会经济变迁指标与老年人心理健康状况的交互项的全模型。随后进行逐步的“最佳路径”简化，在主效应之前移除交互作用，以确定最终生成的最简模型与全模型在方差解释上无显著差异，模型拟合的固定效应如表所示。最终模型显示(表 S6)，各省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁表征与居民消费水平之间存在显著的交互作用(b = 0.13, t = 2.49, $p = 0.013$)。简单斜率检验结果发现，居民消费水平变迁模式相似性越高时，各省(自治区、直辖市)与全国老年人心理健康变迁模式间表征相似性越强(-1*SD*: b = 0.04, t = 1.88, $p = 0.060$; Mean: b = 0.08, t = 5.34, $p < 0.001$; +1*SD*: b = 0.12, t = 5.36, $p < 0.001$)(图 S6)。

表 S6　社会经济变迁对 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性的调节作用

预测变量	B	*SE*	*t*	*p*	95%CI	
					LL	*UL*
(截距)	0.97	0.03	38.26	<0.001***	0.92	1.01
心理健康变迁	0.02	0.03	0.87	0.382	-0.03	0.07
CPI 变迁	-0.01	0.003	-2.73	0.006**	-0.01	-0.002
居民消费水平变迁	-0.13	0.05	-2.60	0.010*	-0.23	-0.03
心理健康变迁×居民消费水平变迁	0.13	0.05	2.49	0.013*	0.03	0.23

CI=confidence interval; LL=lower limit; UL=upper limit.

*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

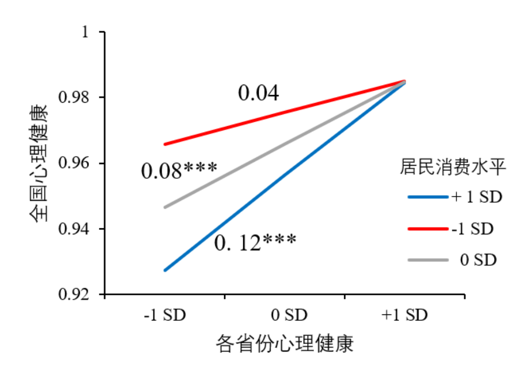


图 S6　居民消费水平变迁的表征相似性模式在 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性中的调节作用(*$p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$)

2.8 模型比较：不同时期老年人心理健康与认知功能地区间的表征相似性(跨地区的多变量表征相似性)

在不同时间点上，对两变量的跨地区表征相似性模式进行比较，可以从整体角度考察两目标变量在地区维度上的共变关系。本例分析了各年份老年人心理健康地区间表征模式与老年人认知功能地区间表征模式的相关性，分别对 1998 至 2018 年老年人心理健康地区间 RSA 矩阵与认知功能地区间 RSA 矩阵进行了相关分析，结果发现，2002 年老年人心理健康地区间表征模式与认知功能地区间表征模式均存在显著的表征相似性($r = 0.40$, $p = 0.011$)。

(表 S7，图 S7)

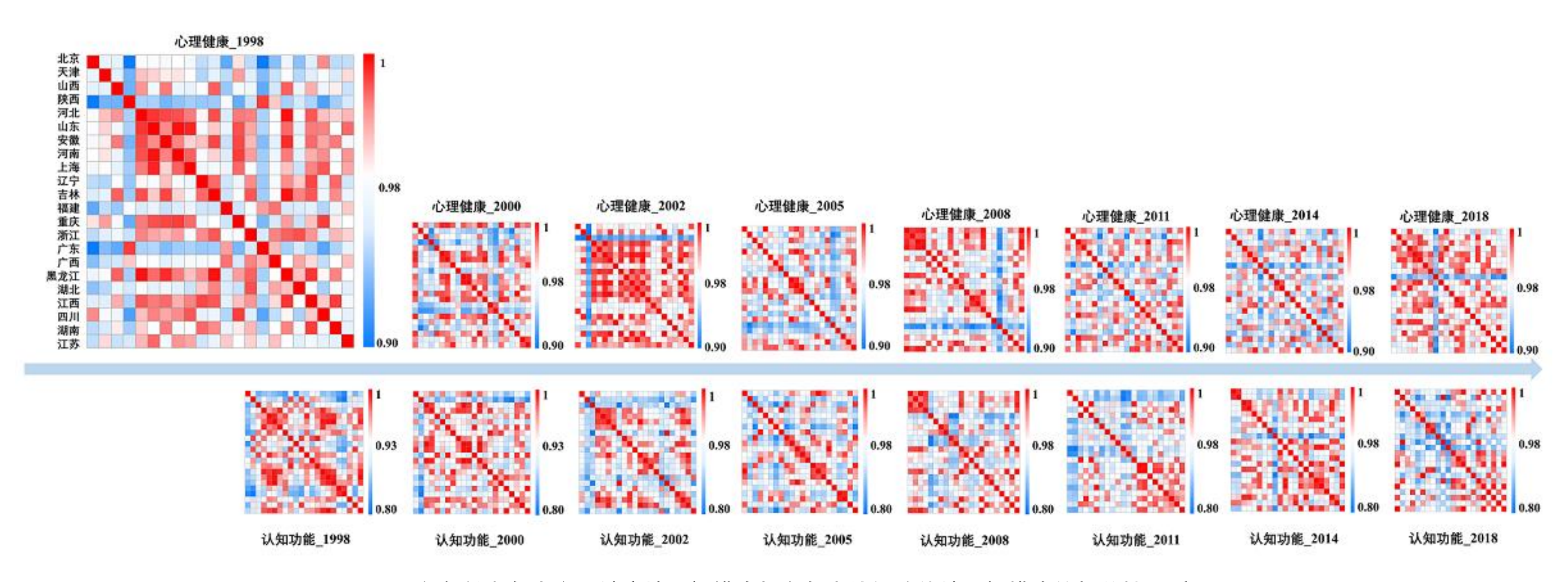


图 S7　各年份老年人心理健康地区间模式与老年人认知功能地区间模式的相关性(示意图)

表 S7　各年份老年人心理健康地区间模式与老年人认知功能地区间模式的表征相似性值(r 值)

		Pearson correlation	Mantel test
	r	p	p
2002	0.40	<0.001***	0.011*
2000	0.25	<0.001***	0.108
2011	0.24	<0.001***	0.054
2018	0.24	<0.001***	0.239
2014	0.09	0.152	0.153
1998	0.02	0.765	0.39
2005	0.01	0.923	0.409
2008	-0.01	0.983	0.373

*p < .05, ** p < .01, *** p < .001.

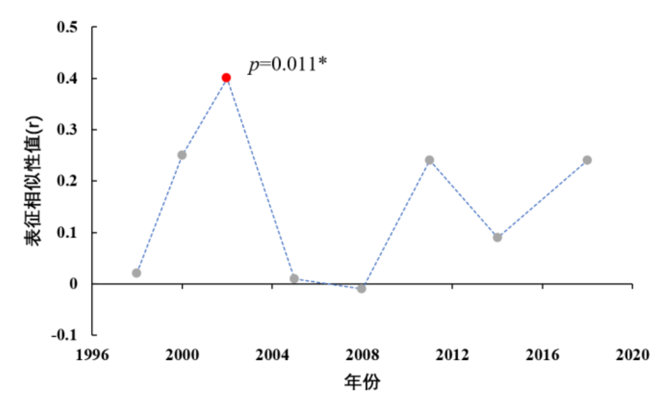


图 S8　各年份老年人心理健康地区间模式与老年人认知功能地区间模式的表征相似性值(r 值)随时间变化的趋势(*p < .05, ** p < .01, *** p < .001)

S3. 对实例 2.3.1 分析的稳健性检验

实例 2.3.1 发现，GDP 水平与地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的相似性显著相关。为排除上述结果受异常值的影响，我们将 GDP 水平作为自变量，表征相似性值(r)作为因变量建立一元线性回归模型，并对该模型分别进行留一交叉验证(leave-one-out)与稳健回归分析。交叉验证结果发现均方根误差(RMSE)为 0.34，平均绝对误差(MAE)为 0.27，表示回归模型拟合结果较好。稳健回归分析(robust regression)结果如下图所示(图 S9)，与最小二乘回归($b = 1.84*10^{-5}, p = 0.032$)相一致，稳健性回归分析方法依然发现了 GDP 水平对表征相似性值(r)的显著预测作用($b = 2.05*10^{-5}, p = 0.016$)。

此外，还进行了补充分析，使用“支出法 GDP”与“收入法 GDP”两个指标分别替代 GDP。支出法 GDP 指从最终使用的角度反映一个国家(或地区)一定时期内生产活动最终成果的一种方法，包括最终消费支出、资本形成总额及货物和服务净出口三部分。收入法 GDP 是从收入角度计算的地区生产总值，等于劳动者报酬、生产税净额、固定资产折旧和营业盈余之和 (国家统计局, https://data.stats.gov.cn/) 。结果发现，支出法 GDP(1998～2017 年均值)与地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的相似性显著相关($r = 0.47, p = 0.026$)，95% Bootstrap 置信区间为[0.033, 0.825](图 S10)。收入法 GDP(1998～2017 年均值)与地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的相似性显著相关($r = 0.48, p = 0.023$)，95% Bootstrap 置信区间为[0.075, 0.797](图 S11)，上述结果再次验证了 GDP 水平与地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的相似性显著相关。

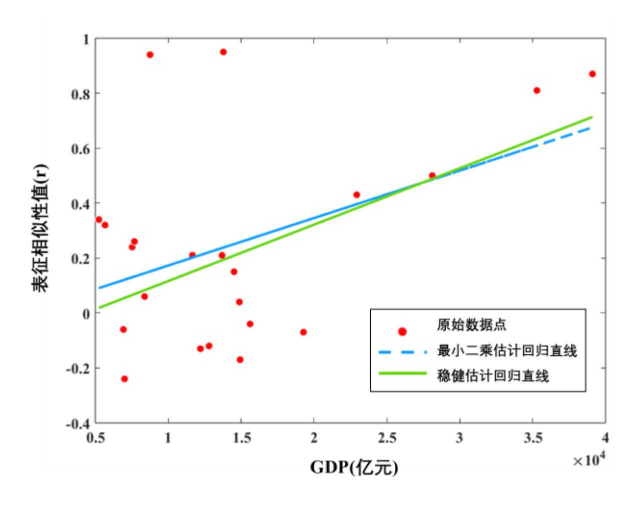


图 S9　以 GDP 水平为自变量，以地区老年人心理健康和全国老年人心理健康变迁模式的表征相似性值(r)为因变量的回归方程拟合图

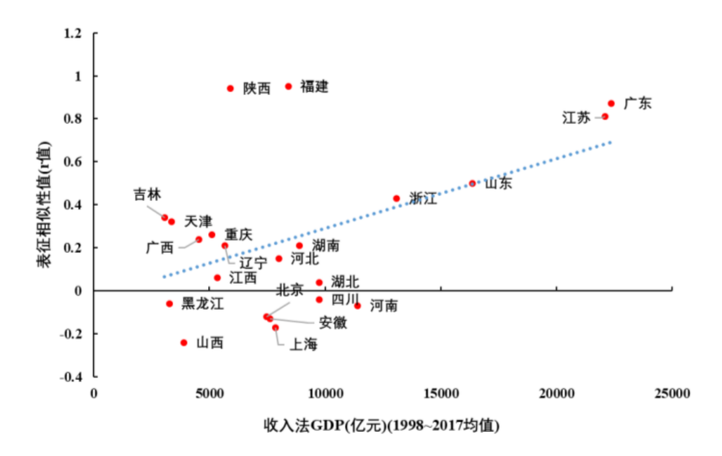


图 S10　收入法 GDP 与 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性值的相关性

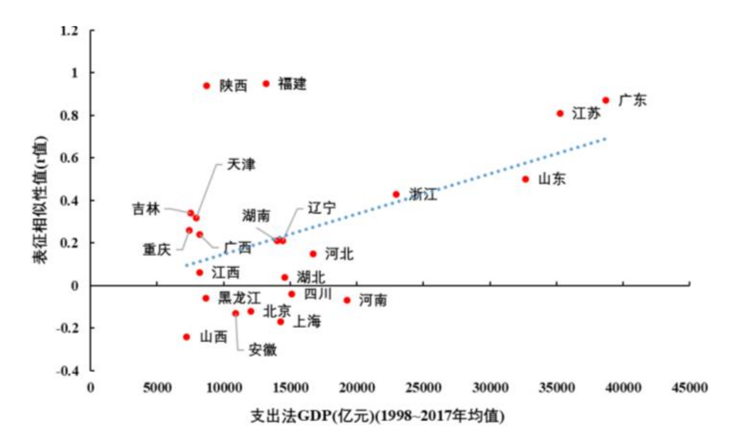


图 S11　支出法 GDP 与 22 个省(自治区、直辖市)老年人心理健康变迁模式与全国老年人心理健康总体变迁模式间表征相似性值的相关性

参考文献：

Chua, R. Y. J., Huang, K. G., & Jin, M. (2019). Mapping cultural tightness and its links to innovation, urbanization, and happiness across 31 provinces in China. *PNAS*, *116*(14), 6720-6725.